



Faculdade de Geologia



Universidade Federal do Pará



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

JULLY MYLLI LOPES AFONSO

**GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DE DOIS PLÚTONS GRANÍTICOS
ISOTRÓPICOS DA REGIÃO DE CANAÃ DOS CARAJÁS (PA) E SUAS
AFINIDADES COM AS SUÍTES GRANÍTICAS DA PROVÍNCIA CARAJÁS**

GEOCIÊNCIAS
U F P A

Belém-Pará
2016

JULLY MYLLI LOPES AFONSO

**GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DE DOIS PLÚTONS GRANÍTICOS
ISOTRÓPICOS DA REGIÃO DE CANAÃ DOS CARAJÁS (PA) E SUAS
AFINIDADES COM AS SUÍTES GRANÍTICAS DA PROVÍNCIA CARAJÁS.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia da
Universidade Federal do Pará – UFPA,
em cumprimento às exigências para
obtenção do grau de Bacharel em
Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Davis Carvalho
Oliveira.

**Belém-Pará
2016**

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Afonso, Jully Mylli Lopes, 1991 -

Geologia, petrografia e geoquímica de dois plútons graníticos isotrópicos da região de Canaã dos Carajás (PA) e suas afinidades com as suítes graníticas da Província Carajás. / Jully Mylli Lopes Afonso. – 2016.

52 f : il.; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Davis Carvalho de Oliveira

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2016.

1. Mineralogia - Pará. 2. Magnetita. 3. Carajás, Província de (PA). I.
Título.

CDD 22 ed.: 549.098115

JULLY MYLLI LOPES AFONSO

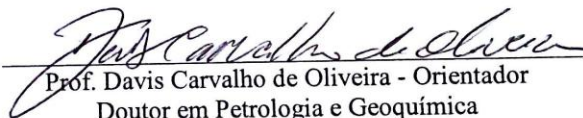
**GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DE DOIS PLÚTONS GRANÍTICOS
ISOTRÓPICOS DA REGIÃO DE CANAÃ DOS CARAJÁS (PA) E SUAS
AFINIDADES COM AS SUÍTES GRANÍTICAS DA PROVÍNCIA CARAJÁS.**

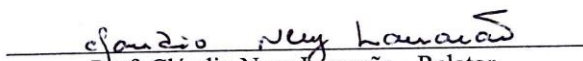
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia da
Universidade Federal do Pará- UFPA, em
cumprimento às exigências para obtenção
do grau de Bacharel em Geologia.

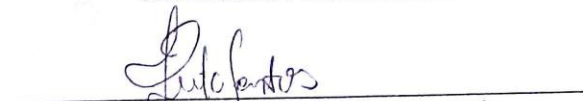
Data de aprovação: 26 / 02 / 2016

Conceito: BOM

Banca examinadora:


Prof. Davis Carvalho de Oliveira - Orientador
Doutor em Petrologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará


Prof. Cláudio Nery Lamarão - Relator
Doutor em Petrologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará


Msc. Pablo José Leite dos Santos - Relator
Mestre em Petrologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho, em especial minha família

AGRADECIMENTOS

Registro meus sinceros e profundos agradecimentos às pessoas e entidades que direta ou indiretamente prestaram sua contribuição para que este trabalho fosse concluído, em especial:

- À Universidade Federal do Pará (UFPA), através do Instituto de Geociências, ao Grupo de Pesquisa de Petrologia de Granitoides (GPPG), pelo fornecimento de infraestrutura necessária à realização deste trabalho.

- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPQ pela concessão de bolsa de iniciação científica (PIBIC) e pelo incentivo a área de pesquisa. Ao Geociam (Processo N°573733/2008-2) pelo apoio financeiro.

- Ao prof. Davis Carvalho de Oliveira, pela oportunidade de iniciação na área de pesquisa, por sua orientação, confiança e paciência ao longo destes anos.

- Aos colegas do Grupo de Pesquisa de Petrologia de Granitoides (GPPG), pelo companheirismo. Em especial Fernando Fernandes e Pablo Santos pelo apoio, críticas construtivas, sugestões e por jamais negarem ajuda sempre que solicitada.

- Aos colegas da geologia UFPA que direta ou indiretamente prestaram contribuições para a conclusão deste trabalho: Ramon Carvalho, Helder Oliveira, Luís Carlos Cristo e aos demais.

- A toda a Tuma de geologia 2011, pelos momentos de descontração compartilhados ao longo de todos esses anos e por fazer dessa jornada algo mais leve e feliz.

- Aos amigos da família Geologia, pela fiel amizade estabelecida ao longo da minha formação acadêmica (Eliã Jéssica, Beatriz Pantoja, Vedrana Costa, Alexandre Castelo, Lidiane Medeiros, Meireanny, Raiza, Tayna Wany, Gabrielle Santos, Adson Pinheiro, Roberto Costa, Fernando Andrade, Taynan, Daiveson Abreu, Victor Matheus, Dimitry Dahas, Antônio Neto, Sâmia Vianna e aos demais).

- A meus familiares por todo o carinho, incentivo e apoio para a realização deste sonho e pela compreensão por todos os momentos que estive ausente.

- Em especial agradeço profundamente a meus pais Selma e Jorge Afonso, pelo amor, cuidado, dedicação, educação e por possibilitarem através de seu trabalho que eu pudesse me dedicar inteiramente a meus estudos. E aos irmãos, pelo amor, apoio companheirismo e incentivo de todos esses anos.

- A Deus pelo dom da vida, por todas as realizações e pelas oportunidades que estão por vir.

RESUMO

Os dois plútons graníticos isotrópicos que afloram na porção centro-oeste do município de Canaã de Carajás são intrusivos em granitoides arqueanos e até a realização deste trabalho não haviam sido descritos na literatura. São formados por rochas hololeucocráticas de composição monzogranítica e de textura equigranular hipidiomórfica média. Apresentam aspecto de granitos evoluídos, onde a biotita é o único mineral ferromagnésiano e estão frequentemente associadas à fluorita, além de allanita, zircão, apatita e epidoto. As transformações em estágio *subsolidus* são marcadas pelas ocorrências de albita, sericita, epidoto e clorita. A presença frequente de intercrescimento granofírico e fluorita apontam para colocação dos corpos em níveis crustais rasos com importante atividade de fluidos durante a fase final de cristalização dos mesmos. Ambos mostram comportamento geoquímico e padrão textural que os distinguem completamente das associações graníticas arqueanas de Carajás, mas que deixam evidente suas afinidades com granitos intraplaca do tipo-A de origem crustal (subtipo A₂) e com aqueles de caráter reduzido (Corpo II) a fracamente oxidado (Corpo I), ambos apresentando elevadas razões $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO}) - \geq 0,91$. A anomalia negativa de Eu e a baixa razão La/Yb, mostrada por estas rochas, é característica de granitos evoluídos e as distinguem daquelas de caráter oxidado que constituem a Suíte Jamon, mas que às aproximam dos granitos reduzidos, em especial daqueles da Suíte Serra dos Carajás. Os valores baixos a moderados de SM encontrados, reforçam o caráter reduzido a fracamente oxidado destas rochas, e assemelham-se aqueles granitos da Suíte Serra dos Carajás. O contraste geoquímico existente entre os plútons estudados e os granitos desta suíte, que apresenta um maior enriquecimento nos teores de FeO_t , MgO, CaO, TiO_2 , Sr, Ba, Nb, e Zr nos primeiros, podem sugerir que a fonte de seu magma e/ou processos de evolução magmática não foram inteiramente coincidentes com aqueles já identificados para as suítes paleoproterozoicas. No entanto, apesar do significativo avanço no conhecimento destes corpos graníticos, ainda há a necessidade de se aprofundar o estudo sobre a natureza deste magmatismo, sobre tudo, a partir da obtenção de dados de química mineral, geocronológicos precisos (U-Pb) e isotópicos (Lu-Hf). Tais metas devem compor os principais objetivos do plano de trabalho para o desenvolvimento da dissertação de mestrado do autor no Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica - UFPA.

Palavras-chave: Granito tipo-A. Magnetita. Paleoproterozoico. Carajás.

ABSTRACT

The isotropic granitic plutons that outcrop in the central-western portion of the Canaã dos Carajás area are intrusive in Archean granitoids and until this work had not been described in the literature. They are formed by hololeucocratic monzogranitic rocks, which has hypidiomorphic and equigranular texture. They presents evolved granites aspect, where biotite is the single ferromagnesian mineral and is often associated with fluorite, and also allanite, zircon, apatite and epidote. The changes in subsolidus stage are defined by the occurrence of albite, sericite, epidote and chlorite. The frequent presence of granophyric intergrowth and fluorite points out to a shallow crustal level emplacement of these bodies within significant fluids activity during the final crystallization stage. They show both geochemical behavior and textural pattern that distinguish them of Archean granitic associations of Carajás, but leave clear its affinities with intraplate granites A-type, with a crustal origin (A2 subtype) and those of reduced character (Intrusion II) to weakly oxidized (Intrusion I), both featuring high $\text{FeOt}/(\text{FeOt} + \text{MgO}) - \geq 0.91$ ratios. The amplitude of the negative Eu anomaly shown by these rocks as well as low La/Yb ratio is an evolved granites characteristic that differ from those of oxidized character constituting the Jamon Suite, but approaching them to the reduced granites, particularly those of Serra dos Carajás Suite. The occurrence of magnetite justify the low to moderate SM values, and enforcing the reduced to weakly oxidized character of these rocks, and its analogies with the Serra dos Carajás suite. The existing geochemical contrasts between the studied plutons and the granite of this suite, which on average, is noted a greater FeOt, MgO, CaO, TiO₂, Sr, Ba, Nb and Zr enrichment on the firsts, may suggest that the source of its magma and/or magmatic evolution processes were not fully coincide with those already identified for the Paleoproterozoic suites. However, despite significant advances in the knowledge of these granitic bodies, there is still needed to deepen the study of the magmatism nature, especially from obtaining mineral chemistry data, precise geochronological (U-Pb) and isotopic (Lu-Hf) data. Such goals should compose the main objectives of the work plan for the development of the author's dissertation at the Graduate Program in Geology and Geochemistry - UFPA.

Keywords: Type-A granites. Magnetite. Paleoproterozoic. Carajás.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. A) Mapa do Brasil com destaque para o estado do Pará. B) Mapa do estado do Pará com a localização da cidade de Belém e da região estudada no sudeste do Pará. C) Mapa de localização da área, com destaque para as vias de acesso ao município de Canaã dos Carajás. 17
- Figura 2 - A) Subdivisão do Cráton Amazônico. B) Representação da Província Carajás e sua divisão em domínios tectonicamente distintos, ao sul caracterizado pelo Domínio Rio Maria, e ao sul caracterizado pelo Domínio Carajás. O Domínio Carajás pode ser subdividido em Bacia Carajás, ao norte, e Subdomínio de Transição, ao sul. C) Mapa geológico dos corpos estudados..... 23
- Figura 3 - A) Mapa geológico dos granitos estudados. A) Localização da área de estudo com destaque para o estado do Pará e a localização da Província Carajás. B) Localização dos granitos estudados, que apresentam ocorrência restrita e são identificados como dois pequenos plútons subcirculares e isotrópicos que são intrusivos em granitos arqueanos deformados 25
- Figura 4 - Aspectos de campo dos granitos estudados. A) Visão geral do afloramento que ocorre na forma de pequeno morrote. B) Afloramento que ocorre na forma de blocos. C) e D) Aspectos macroscópicos dos granitos estudados dando destaque para a textura equigranular da rocha e seu caráter isotrópico..... 26
- Figura 5 - Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M para os dois granitos estudados..... 29
- Figura 6 - Principais aspectos mineralógicos e texturais microscópicos das rochas que compõem o corpo I. A) Álcali feldspatos pertíticos (as pertitas formam filmes contínuos e regulares) nota-se a presença de albita intergranular ao longo do contato entre cristais de álcali-feldspato. B) Representação do caráter hipidiomórfico da rocha com destaque para a relação de contato irregular entre a biotita e o plagioclásio. C) Relação de contato irregular entre cristais de biotita e plagioclásio nota-se também a alteração parcial da biotita para clorita e a intensa sericitização do plagioclásio. D) Saussuritização do plagioclásio gerando sercicita e muscovita percebe-se também a associação deste com biotita. E) Concentração de minerais ferromagnesianos, onde a o predomínio de cristais de biotita associados a minerais opacos e allanita, com inclusões de zircão e apatita; F) Cristal de biotita associado a allanita, ocorrência de epidoto e plagioclásio cristalizados ao longo dos planos de clivagem da biotita 32

- Figura 7 - Principais aspectos mineralógicos e texturais microscópicos das rochas que compõem o corpo II. A) Cristal de feldspato potássico com maclamento carlsbad e feições de exsolução (mesopertitas); B) Agregados de feldspatos potássico com formação de albita intergranular ao longo de seus contatos; C) Cristal de feldspato potássico com intercrescimento de quartzo granofírico; D) Cristal de feldspato potássico com intercrescimento de quartzo granofírico; E) Cristal de biotita associado a cristais de fluorita, nota-se ainda a presença de plagioclásio ao longo dos planos de clivagem da biotita além de inclusões de cristais menores de apatita; F) Cristal de biotita intensamente transformado para clorita, com formação de cristais de epidoto e plagioclásio ao longo de seus planos de clivagem.....33
- Figura 8 - Diagramas de Harker para os óxidos de elementos maiores dos granitos estudados, em comparação com granitos das Suítes Paleoproterozoicas – Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme e leucogranitos arqueos, e com a Suíte Planalto do Domínio Carajás. A) Al_2O_3 ; B) CaO; C) FeO; D) MgO; E) K_2O/Na_2O ; F) TiO_236
- Figura 9 - Diagramas de Harker para os elementos-traço dos granitos estudados, em comparação com granitos das Suítes Paleoproterozoicas – Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme e leucogranitos arqueos, e com a Suíte Planalto do Domínio Carajás. A) Ba; B) Nb; C) Rb; D) Sr; E) Y; F) Zr.38
- Figura 10 - Padrão dos ETRs dos granitos estudados, em comparação com granitos das Suítes Paleoproterozoicas – Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme e leucogranitos arqueos, e com a Suíte Planalto do Domínio Carajás, normalizados em relação ao condrito39
- Figura 11 - Caracterização geoquímica dos granitos estudados. A) Diagrama de Shand (1943) destacando o caráter peraluminoso a fracamente metaluminoso dos granitos estudados. B) Diagrama de discriminação de granitos, que caracteriza os granitos estudados como alcalinos.40
- Figura 12 - Diagramas de classificação de Ambiente Tectônico e Tipologia de Granitóides. A) Representação das amostras analisadas em diagramas WPG (Granito Intraplaca); syn-COLG (Granito Sincolisional); VAG (Granito de Arco Vulcânico); ORG (Granito de Cadeia Oceânica. B) Representação das amostras analisadas no diagrama, A (granito anorogênico); FG (granito fracionado); OGT (granito não fracionado). C) Diagramas de HSFE vs SiO_2 . D) Subdivisão de granitos tipo A de Eby (1992) com representação dos campos associados e campos comparativos. E) Diagrama $FeO/(FeO+MgO)$ versus sílica (Frost et al. 2001); F) Diagrama $FeO/(FeO+MgO)$ versus Al_2O_342

Figura 13 - Quadro e histogramas comparativos de dados de Susceptibilidade Magnética (SM) obtidos para as amostras estudadas e assinaturas magnéticas das suítes paeoproterozóicas..	45
--	----

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	14
1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Apresentação	14
1.2 Justificativa	15
1.3 Localização da área	15
1.4 Objetivos.....	16
1.5 Metodologia.....	18
1.5.1 Pesquisa Bibliográfica	18
1.5.2 Petrografia	18
1.5.3 Geoquímica.....	18
CAPÍTULO II.....	20
2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	20
2.1 Geologia da Província Carajás	20
2.2 Geologia do subdomínio de transição	21
2.3 Granitos anorogênicos da Província Carajás	24
2.4 Geologia local	25
CAPÍTULO III	27
3 RESULTADOS	27
3.1 Petrografia.....	27
3.2 Geoquímica	34
3.2.1 Análises geoquímicas	34
3.2.1.1 Elementos Maiores	34
3.2.1.2 Elementos Traços e Terras Raras (ETRs).....	37
3.2.2 Classificação, Ambiente Tectônico e Tipologia de Granitos.	39
CAPÍTULO IV.....	43
5 COMPARAÇÕES COM OUTRAS SUÍTES GRANÍTICAS	43

CAPÍTULO VI.....	46
6 CONCLUSÕES.....	46
REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

A Província Carajás apresenta fundamental importância tanto do ponto de vista científico, por ser a mais antiga do Cráton Amazônico, quanto pelo seu enorme interesse econômico. Segundo Dall'Agnol et al. (2006) e Feio et al. (2013) sua estabilização tectônica ocorreu ainda no Mesoarqueano, e posteriormente, durante o Paleoproterozóico, a província foi afetada por um evento magmático extensivo marcado por intrusões graníticas com assinatura de granito tipo-A e por diques máficos a félsicos associados.

A classe de granitos tipo A foi proposta pela primeira vez por Loiselle e Wones (1979), como uma classificação essencialmente química que descreve rochas graníticas com teores elevados de $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$, altos teores de Zr, Nb, elementos terras raras, alta razão $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{Mg})$ e baixas concentrações Ba, Sr e Eu, baixa fugacidade de oxigênio e reduzido conteúdo de H_2O . Whalen et al. (1987) adicionaram como características típicas de granitos do tipo A, altos conteúdos de SiO_2 , Ga, Y, Ce e Zn, alta razão de Ga/Al e baixos conteúdos de Al_2O_3 e CaO. Com base em tais aspectos, foram reconhecidos na Província Carajás dois importantes eventos de geração de magmatismo do tipo A. O primeiro episódio, gerado ainda no Neooarqueano, é representado pelo Complexo Granítico Estrela, Granito Serra do Rabo e Suíte Planalto (BARROS et al., 2004; HUHN et al., 1999; SARDINHA et al., 2006; FEIO et al., 2012). O segundo episódio, gerado no Paleoproterozóico, é marcado por intrusões graníticas anorogênicas e por diques associados. Este último foi caracterizado por Dall'Agnol e Oliveira (2007), com base em parâmetros químico-mineralógicos e nas condições de fugacidade do oxigênio reinantes durante a cristalização de seus magmas, em três suítes distintas: (i) Suíte Jamon (oxidada – série magnetita); (ii) Suíte Serra dos Carajás (moderadamente oxidada) e (iii) Suíte Velho Guilherme (reduzida – série ilmenita).

Com os avanços significativos do conhecimento na região da Província Carajás, através de mapeamento geológico mais detalhado ao longo das últimas décadas, tornou-se possível um maior entendimento dos principais aspectos evolutivos desta província. Nesse sentido, novas unidades vêm sendo individualizadas através de um estudo mais detalhado de corpos graníticos ainda indiferenciados.

1.2 Justificativa

As áreas de ocorrência dos dois *stocks* graníticos que são objetos desta pesquisa, estão localizadas nas porções centro-oeste do município de Canaã dos Carajás, inseridas no contexto geológico da porção norte da Província Carajás, denominada originalmente de Domínio Carajás por Santos (2003), e posteriormente de Subdomínio de Transição (SDT) entre este domínio e o Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, por Feio et al. (2013). Apesar da região de Canaã dos Carajás ter sido alvo de diversos estudos na última década, atividades de mapeamento geológico vinculadas ao desenvolvimento de teses e dissertações de estudantes do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides da UFPA (GPPG), possibilitaram a individualização de diversos corpos graníticos nesta região, onde foram reconhecidas e amostradas duas ocorrências de granitos de aspecto isotrópico, indiferenciados e intrusivos em rochas mesoarqueanas. Entretanto, como corpos graníticos desprovidos de feições deformacionais são muito expressivos na Província Carajás e podem marcar a ocorrência de um significativo episódio de distensão crustal responsável pela geração de magmatismo do tipo-A no paleoproterozóico, ou mais restritamente, podem representar pulsos tardios de granitos meso- ou neoarqueanos, até então, ainda não estava claro se tais plútons pertenciam aos granitos das suítes anorogênicas ou se eram fácies menos deformadas ou tardias associadas aos leucogranitos cálcio-alcalinos ou aos granitos subalcalinos neoarqueanos.

A caracterização destes *stocks* graníticos era, até o desenvolvimento do presente trabalho, inexistente, não dispondo de estudos petrográficos tampouco geoquímicos. A dificuldade de obtenção de dados geocronológicos em rochas muito evoluídas é um fator que leva a procurar outras ferramentas para elucidar a problemática. Para tanto, estudos petrográficos, mineralógicos e geoquímicos são imprescindíveis para uma melhor caracterização desses corpos graníticos, além de permitir a definição de suas similaridades, possibilitando ainda, uma correlação entre esses corpos e aqueles de idade paleoproterozoica ou meso-neoarqueana que ocorrem na Província Carajás.

1.3 Localização da área

Os corpos graníticos alvo deste estudo, ocorrem na região sudeste do Estado do Pará entre os limites dos municípios de Água Azul do Norte e Canaã dos Carajás, próximo à área de ocorrência do granito anorogênico Rio Branco, caracterizado por Santos et al. (2013). Partindo de Belém, o acesso a área pode ser feito por via terrestre até a cidade de Marabá,

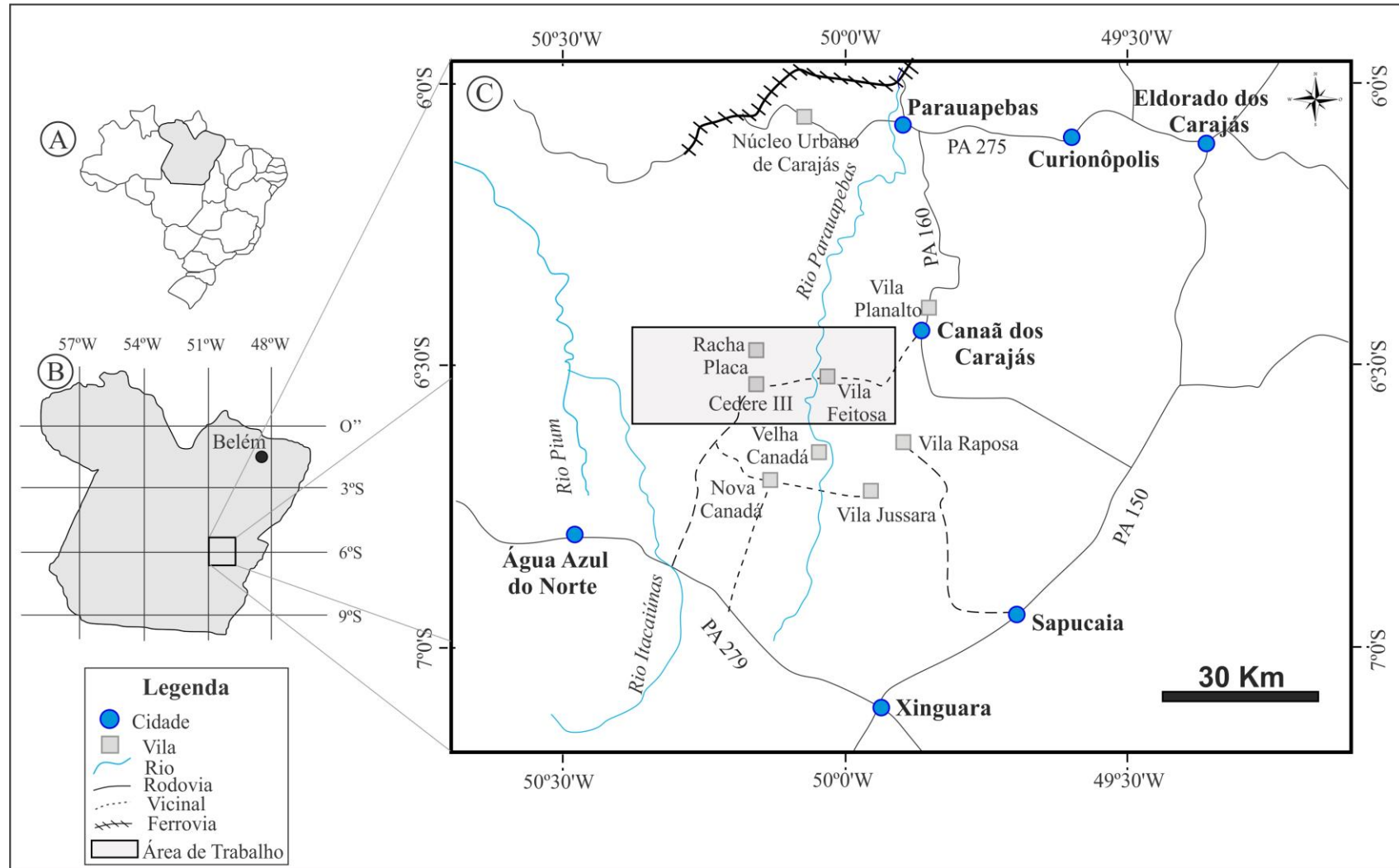
seguindo-se desta em direção à Canaã dos Carajás pela rodovia PA-150. O acesso ao município de Canaã dos Carajás se dá por estrada pavimentada (Figura 1) e ao interior da área, este é feito principalmente através de estradas vicinais.

1.4 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral a caracterização geológica, petrográfica e a classificação química de dois corpos graníticos de aspecto isotrópico que ocorrem nas porções centro-oeste do município de Canaã dos Carajás e compará-los com outros corpos análogos da Província Carajás. Busca-se com isso, contribuir para a caracterização do magmatismo granítico do Domínio Carajás e consequentemente para a discussão sobre a evolução crustal deste segmento de crosta. Com essa finalidade são propostos na execução deste trabalho os seguintes objetivos específicos:

- (I) Caracterizar petrográfica e geoquimicamente esses plútons e discutir a respeito de suas afinidades geoquímicas, tipologia e processos magmáticos que controlaram a sua evolução;
- (II) Estabelecer comparações entre esses corpos e as suítes graníticas de idade paleoproterozoica que ocorrem na Província Carajás, assim como aquelas do meso e neoarqueano, com o intuito de definir e caracterizar as possíveis similaridades.

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo. A) Mapa do Brasil com destaque para o estado do Pará. B) Mapa do estado do Pará com a localização da cidade de Belém e da região estudada no sudeste do Pará. C) Mapa de localização da área, com destaque para as vias de acesso ao município de Canaã dos Carajás.



Fonte: Do autor

1.5 Metodologia

Para alcançar os objetivos propostos, foram utilizadas diversas técnicas e métodos de investigação. Segue abaixo o enunciado das principais atividades realizadas.

1.5.1 Pesquisa Bibliográfica

Consistiu no levantamento bibliográfico referente à geologia da região estudada, onde se incluíram artigos científicos, livros, dissertações de mestrado e teses de doutorado, com temas especificamente relacionados à geologia de terrenos Arqueanos e gênese e evolução de granitos Paleoproterozoicos, principalmente no que concerne aos granitos tipo-A, sua petrografia, geoquímica e geocronologia.

1.5.2 Petrografia

A caracterização petrográfica foi realizada com base no estudo mesoscópico sistemático, seguido de estudo em microscópio petrográfico de lâminas delgadas, para o estudo petrográfico de luz transmitida. Descrição sistemática de 11 amostras representativas sendo oito do Corpo I e três representantes do Corpo II; com ênfase no estudo das texturas magmáticas e de alteração; obtenção de composições modais com contador automático de pontos da marca *Endeep* (média de 1.800 pontos por amostra). Os dados obtidos foram posteriormente plotados no diagrama Q-A-P (Streckeisen, 1976) permitindo assim classificar adequadamente as rochas estudadas, conforme estabelecido pela IUGS.

1.5.3 Geoquímica

As análises geoquímicas em rocha total foram realizadas em 7 amostras representativas dos corpos estudados, as quais foram previamente selecionadas no estudo petrográfico, sendo cinco representantes do Corpo I e duas análises do Corpo II. As análises foram realizadas pelo laboratório *Acme Analytical Ltd.* (Vancouver, Canadá), onde foram analisados os conteúdos de elementos maiores e menores e traços. Os elementos maiores e menores foram analisados por ICP-ES e os elementos-traço e terras raras por ICP-MS. A caracterização geoquímica dos granitoides estudados foi baseada nos princípios gerais discutidos em Ragland (1989) e Rollinson (1993). Foram utilizados diagramas de variação clássicos e diversos diagramas de classificação propostos na literatura (SHAND, 1943;

PEARCE et al., 1984; WHALEN et al., 1987; DALL'AGNOL; OLIVEIRA, 2007; FROST et al., 2001; SYLVESTER, 1989; EBY, 1992), com o intuito de definir a série magmática e a tipologia do granito. Os processos responsáveis pela evolução magmática foram avaliados através do comportamento dos elementos litófilos nas diferentes variedades (Rb, Sr, Ba; cf. HANSON, 1978), bem como pelas suas assinaturas de elementos terras raras (HENDERSON, 1984; ROLLINSON, 1993).

2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 Geologia da Província Carajás

A Província Carajás localizada na borda Sudeste do Cráton Amazônico está inserida dentro do contexto evolutivo da Província Amazônia Central de Tassinari e Macambira (1999) ou Província Carajás de Santos (2003; Figura 2a). O conjunto de dados litológicos e geocronológicos permitiu que Souza et al. (1996), Dall'Agnol et al. (2006) e Vasquez e Rosa-Costa (2008) subdividissem a Província Carajás em dois segmentos crustais tectonicamente distintos: Domínio Rio Maria de idade mesoarqueana, ao sul, e Domínio Carajás formado por rochas meso- e neoarqueanas, ao norte. Com diversos granitos anorogênicos paleoproterozoicos seccionando as unidades arqueanas em toda a Província Carajás (Dall'Agnol et al., 2006).

Como o limite entre estes dois domínios ainda não estava claramente estabelecido foi considerado por Feio et al. (2013) a existência de um Subdomínio de Transição em relação ao terreno situado entre Xinguara e o sul da Bacia Carajás (Figura 2b).

O **Domínio Rio Maria** é formado por *greenstone belts* (Supergrupo Andorinhas) e por granitoides arqueanos. Os granitoides arqueanos foram divididos em cinco grupos: (1) Série TTG mais antiga -Tonalito Arco Verde e Trondhjemitó Mogno, seguidos pelo Complexo Tonalítico Caracol, Tonalito Mariazinha ($2,96 - 2,93 \pm 0,02$ Ga); (2) granitoides com alto Mg - Granodiorito Rio Maria e rochas de afinidade sanukitoide associada ($\sim 2,87$ Ga); (3) leucomonzogranitos cálcico-alcálicos - Suíte Guarantã e granitos correlatos (2,87 Ga); (4) Trondhjemitó Água Fria (2,86 Ga), que corresponde aos TTGs mais jovens; (5) leucogranitos potássicos – granitos Xinguara e Mata Surrão (2,86 Ga); (PIMENTEL, MACHADO, 1994, MACAMBIRA, LAFON, 1995; LEITE et al., 2004; DALL'AGNOL et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2009; GUIMARÃES et al., 2010; ALMEIDA et al., 2011, 2013). Além destes ocorrem granitos anorogênicos da Suíte Jamon (1,88 Ga) (DALL'AGNOL et al., 2005).

O **Domínio Carajás** é subdividido em Bacia Carajás, a norte, e Subdomínio de Transição, a sul. A Bacia Carajás é composta pelo Supergrupo Itacaiúnas (MACHADO et al., 1991, DALL'AGNOL et al., 2006), Complexo Luanga (MACHADO et al., 1991) e granitos subalcalinos - Complexo Estrela, Serra do Rabo, Igarapé Gelado e Salobo – (MACHADO et

al., 1991; BARROS et al., 2004, 2009; SARDINHA et al., 2006), sucedido por extensa sedimentação da Formação Águas Claras (NOGUEIRA et al., 1995).

A área de Canaã dos Carajás, onde se localiza a área de estudo, está inserida na porção nordeste do Subdomínio de Transição, portanto desperta maior interesse para esta pesquisa e será descrito mais detalhadamente abaixo.

2.2 Geologia do Subdomínio de Transição

O embasamento granulítico da Província Carajás está localizado no subdomínio de transição este corresponde a unidade Ortogranulito Chicrim-Cateté caracterizada por Vasquez e Rosa-Costa (2008) como uma unidade constituída por ortogranulitos, enderbitos e charnockitos.

Vasquez e Rosa-Costa (2008) também descreveram o Diopsídio-norito Pium como sendo uma unidade de gabros e dioritos, com quartzo-gabros e quartzo-dioritos associados. Recentemente, Santos et al. (2012) associaram a esta unidade rochas ultramáficas descritas na região de Vila Feitosa, em Canaã dos Carajás e atribuíram idades neoarqueanas variáveis entre 2,74 e 2,73 Ga para esta unidade.

Entre os granitoides mais antigos destacam-se as rochas com anfibólio de afinidade toleítica a cálcio-alcálica, que incluem o Tonalito Bacaba (3,0 Ga; MORETO et al., 2011), Complexo Tonalítico Campina Verde (2,92-2,85 Ga; FEIO et al., 2013) e Tonalito São Carlos (2,93 Ga; SILVA, 2012). Ocorrem também tonalitos e trondhjemitos de afinidade TTG, representados pelo Trondhjemito Rio Verde (2,93-2,85 Ga; FEIO et al., 2013) e Trondhjemito Colorado (2,87 Ga; SILVA, 2012). Além de sanukitoide (2,88 Ga), que incluem os granodioritos Água Azul e Água Limpa de alto Mg na forma de corpos deformados e alongados na direção E-W, conforme definido por Gabriel (2012).

Granitos de afinidade cálcio-alcálica de 2,95 a 2,84 Ga, que, por ordem de formação são os granitos Canaã dos Carajás, Cruzadão, Boa Sorte, Bom Jesus e Serra Dourada (FEIO et al., 2013; RODRIGUES et al., 2011);

O granito Canaã dos Carajás é representado por biotita-monzogranitos a granodioritos (2,9 Ga; FEIO et al., 2013); O granito Bom Jesus é constituído por biotita-monzogranitos a sienogranitos que apresentam foliações NE-SW e englobam enclaves anfibolíticos (FEIO et al., 2013).

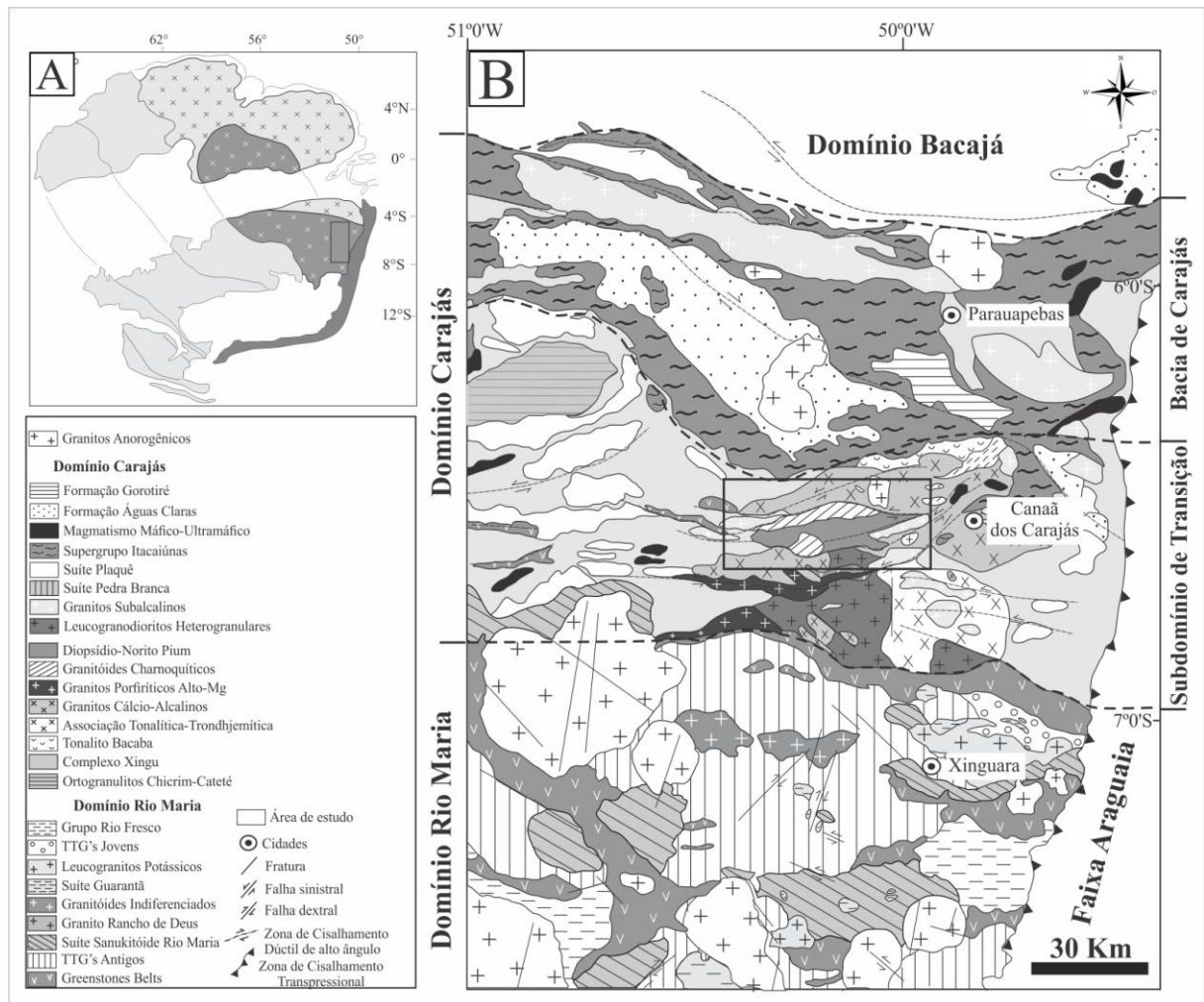
O granito Cruzadão é formado por rochas monzograníticas a sienograníticas, com biotita predominante entre os minerais máficos, muito similar em termos macroscópicos ao Granito Bom Jesus. A assinatura geoquímica destas rochas apresenta variação de cálcio-alcalina para moderadamente alcalina, exibindo, respectivamente, razões $(La/Yb)_N$ alta, moderada a baixa (FEIO et al., 2013). Datações pelo método U-Pb em zircão apontaram idade de 2,85 Ga para a cristalização deste granito (FEIO et al., 2013).

O granito Boa Sorte é um batólito alongado na direção E-W, constituído por biotita leucomonzogranitos, com granodioritos e sienogranitos subordinados, que apresentam variados graus de deformação, ocorre intrudido por plútons de composição máfica a intermediária do Diopsídio-Norito Pium, granitos da Suíte Planalto e por diques máficos (RODRIGUES et al., 2011). São rochas com alto conteúdo de K_2O , baixo de elementos ferromagnesianos, moderado de CaO e Na_2O e moderado a alto de Al_2O_3 e sua colocação se deu ainda no Mesoarqueano (2,85 Ga; RODRIGUES et al., 2011).

Os granitos subalcalinos de idade neoarqueana são sintectônicos representados pela Suíte Planalto, que compreende sienogranitos, monzogranitos e álcali-felspato granitos, com anfibólio e biotita representando as principais fases máficas. Apresentam características de granitos tipo-A com afinidade subalcalina, são metaluminosos ou muito subordinadamente peraluminosos (HUNH et al., 1999, GOMES 2003, SARDINHA et al., 2004, SANTOS, OLIVEIRA 2010). Para Feio et al., (2012) a Suíte Planalto corresponder a granitos hidratados, associados a séries charnockíticas. Estudos geocronológicos apontaram idades neoarqueanas para esta unidade, variando entre 2,75 e 2,73 Ga (HUNH et al., 1999; SARDINHA et al., 2004; FEIO et al., 2012). Além destes, foram recentemente descritos os granitos Vila Jussara, que se diferenciam daqueles da Suíte Planalto pelo caráter predominantemente oxidado e pela presença expressiva de rochas granodioríticas e tonalíticas com anfibólio modal (SILVA, 2012).

A Suíte Plaquê é composta por muscovita-biotita leucogranitos peraluminosos que ocorrem como corpos alongados na direção E-W paralelos a subparalelos à estruturação dos gnaisses do Complexo Xingu. No entanto, mapeamentos mais detalhados na área de ocorrência da Suíte Plaquê, indicaram ausência de duas micas nos corpos de granitos atribuídos para esta suíte, sendo constatada, porém, a presença de anfibólio biotita granitos subalcalinos correlacionados à Suíte Planalto ou aos granitos Vila Jussara (GOMES, 2003; FEIO et al., 2012), o que resultou em uma redução na área de ocorrência da Suíte Plaquê.

Figura 2: A) Subdivisão do Cráton Amazônico. B) Representação da Província Carajás e sua divisão em domínios tectonicamente distintos, ao sul caracterizado pelo Domínio Rio Maria, e ao sul caracterizado pelo Domínio Carajás. O Domínio Carajás pode ser subdividido em Bacia Carajás, ao norte, e Subdomínio de Transição, ao sul. C) Mapa geológico dos corpos estudados.



Fonte: Baseado em Vasquez e Rosa-Costa 2008; Oliveira 2010; Gabriel 2012;

2.3 Granitos anorogênicos da Província Carajás

Em torno de 1,88 Ga, a Província Carajás foi palco de um evento magmático extensivo, marcado por intrusões graníticas anorogênicas e diques associados formando três suítes distintas (DALL'AGNOL et al., 2005). Essas suítes foram caracterizadas por Dall'Agnol et al., (2005) e Dall'Agnol e Oliveira (2007) com base em suas características petrográficas e geoquímicas, seu potencial metalogenético e nas condições de fugacidade do oxigênio reinantes durante a cristalização, em: (i) Suíte Jamon (granitos Musa, Redenção, Jamon, Bannach, Marajoara, Manda Saia); (ii) Suíte Serra dos Carajás (granitos Serra dos Carajás); (iii) Suíte Velho Guilherme (granitos Antônio Vicente e Velho Guilherme).

No Domínio Rio Maria este magmatismo anorogênico é representado pela Suíte Jamon que engloba os granitos Musa, Redenção, Jamon e Bannach (DALL'AGNOL et al., 1999; OLIVEIRA et al., 2002, 2006). Esses granitos são marcados por uma homogeneidade composicional essencialmente monzogranítica e sienogranítica, comumente com megacristais de k-feldspato envoltos por plagioclásio, e com mineralogia acessória: zircão, apatita, magnetita, ilmenita, allanita, titanita e fluorita nas fácies mais evoluídas, formadas em condições oxidantes e de fugacidade de oxigênio (fO_2) relativamente elevada (ALMEIDA et al., 2007; OLIVEIRA, 2002).

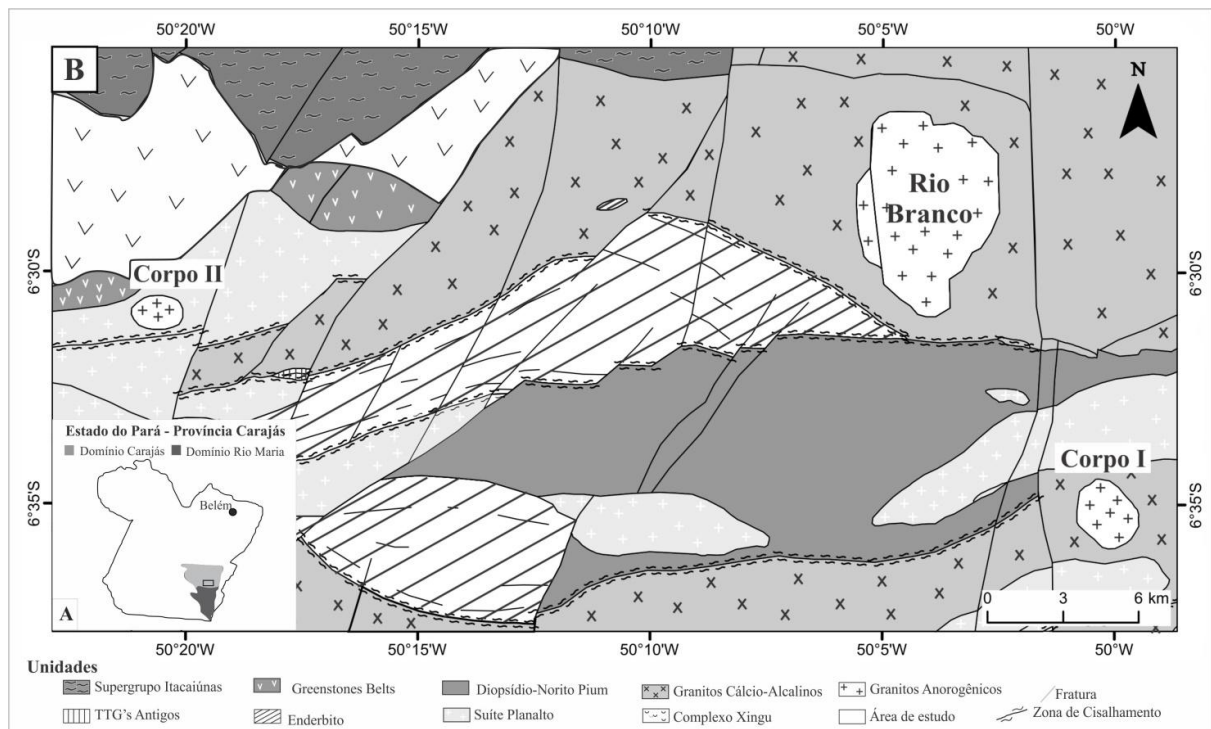
Os granitos anorogênicos paleoproterozóicos do Domínio Carajás são representados por unidades da Suíte Serra dos Carajás (DALL'AGNOL et al., 2005), composta pelos Granitos Serra dos Carajás, Cigano, Pojuca e Rio Branco (SANTOS et al., 2013). Esses granitos são marcados por uma homogeneidade composicional essencialmente monzogranítica e subordinadamente sienogranítica, e com mineralogia acessória: zircão, apatita, allanita e titanita rara ou ausente, formados em zona de baixa fugacidade de oxigênio e sua assinatura geoquímica é própria de granitos Tipo A reduzidos (SANTOS et al., 2013).

A suíte Velho Guilherme é composta pelos granitos Antônio Vicente e Velho Guilherme, apresentando características subalcalinas e alcalinas, geralmente monzogranitos, sienogranitos e subordinadamente álcali-feldspato granitos, são mineralogicamente ricos em fluorita e com rara presença de titanita e magnetita, são portadores de mineralizações de estanho e outros metais raros, com assinatura geoquímica de granitos Tipo A reduzidos (TEIXEIRA, BETTENCOURT, 2000; TEIXEIRA et al., 2002).

2.4 Geologia Local

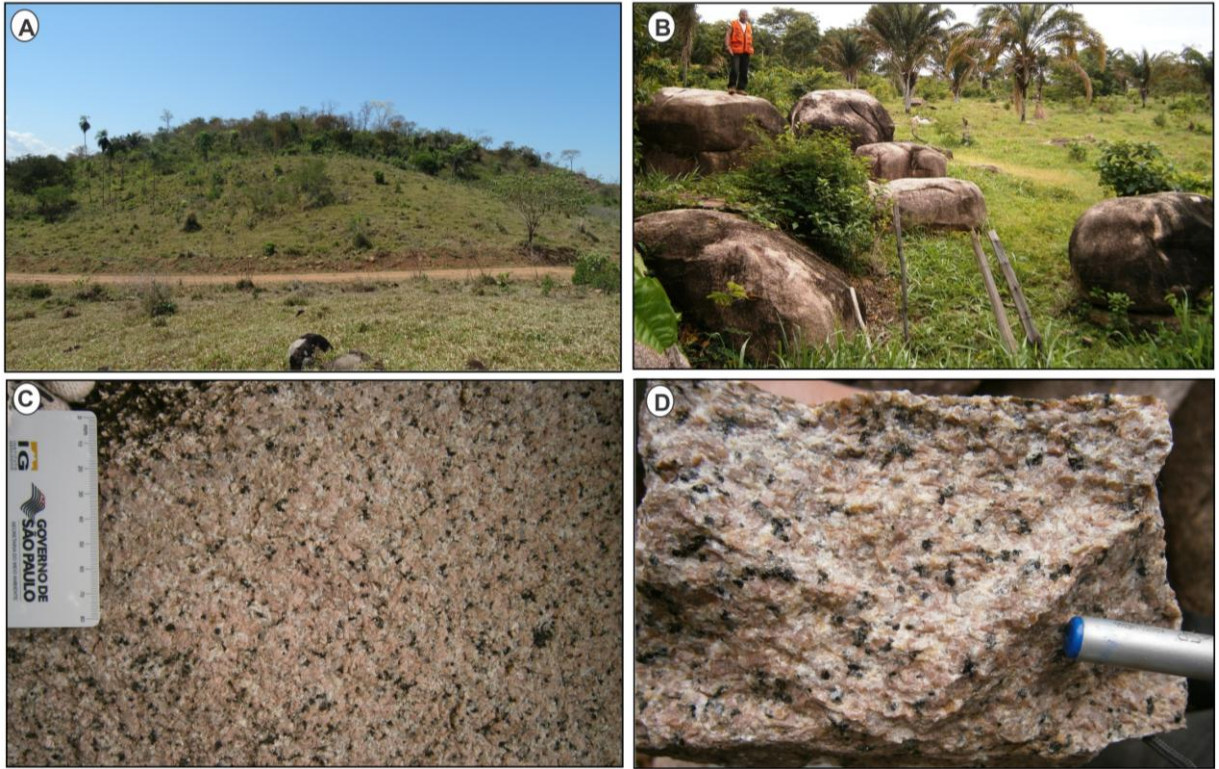
A área de estudo está localizada a oeste da cidade de Canaã dos Carajás, próximo às localidades Cedere III e Racha Placa. O contexto geológico é dominado por rochas graníticas arqueanas, subordinadamente também ocorrem às rochas vulcânicas máficas da Bacia Carajás. Os granitos aqui estudados têm ocorrência restrita e são identificados como dois pequenos plútons subcirculares e isotrópicos que são intrusivos em granitos arqueanos deformados (Figura 3). O Corpo I ocorre na porção sudeste da área e é intrusivo no Granito Cruzadão (2,87 Ga; Feio et al., 2013), o qual é marcado por forte foliação E-W. E o Corpo II está localizado na porção oeste da área de trabalho, sendo intrusivo em anfibólio-biotita granito subalcalino fortemente foliado E-W, muito semelhante aos granitos neoarqueanos da Suíte Planalto de 2,75 Ga (Feio et al., 2012). Os plútons estudados ocupam área inferior 4,0 km², e afloram como pequenos morrotes ou blocos isolados (Figura 4a,4b respectivamente). São rochas de aspecto isotrópico, hololeucocráticas ($M' < 5,0\%$), de coloração rosa acinzentada e composição essencialmente monzogranítica, que apresentam textura equigranular média (Figuras 4c, 4d) e não apresentam variações faciológicas.

Figura 3: A) Mapa geológico dos granitos estudados. A) Localização da área de estudo com destaque para o estado do Pará e a localização da Província Carajás (Santos, 2003). B) Localização dos granitos estudados, que apresentam ocorrência restrita e são identificados como dois pequenos plútons subcirculares e isotrópicos que são intrusivos em granitos arqueanos deformados.



Fonte: Do autor

Figura 4: Aspectos de campo dos granitos estudados. A) Visão geral do afloramento que ocorre na forma de pequeno morrote. B) Afloramento que ocorre na forma de blocos. C) e D) Aspectos macroscópicos dos granitos estudados dando destaque para a textura equigranular da rocha e seu caráter isotrópico.



Fonte: Do autor

3. RESULTADOS

3.1 Petrografia

Os estudos petrográficos realizados nos dois plútons graníticos consistiram da caracterização e identificação em escala macro- e microscópica dos minerais em 11 amostras representativas destas intrusões, sendo oito do Corpo I e três representantes do Corpo II.

Os dados obtidos a partir das análises modais estão representados na tabela 1 e quando lançados no diagrama Q-A-P-M' de Streckeisen (1976), classificam estas rochas como de composição essencialmente monzograníticas com índice de máficos sempre inferior a 10% (Figura 5).

Macroscopicamente, não se verificam variações faciológicas proeminentes nestes plútons, que são composto por rochas holocristalinas, faneríticas, hololeucocráticas com textura equigranular hipidiomórfica e de granulação média (2-5mm) a raramente grossa (até 10 mm). Apresenta coloração variando do rosa acinzentada, devido às variações na razão plagioclásio/feldspato potássico.

A mineralogia essencial é representada por quartzo, plagioclásio e feldspato potássico; as fases máficas variam entre 2-7%, sendo a biotita o mineral mais representativo; e os minerais acessórios são: apatita, zircão, allanita, epidoto, fluorita e opacos, além de sericita, argilo-minerais e clorita, como minerais secundários.

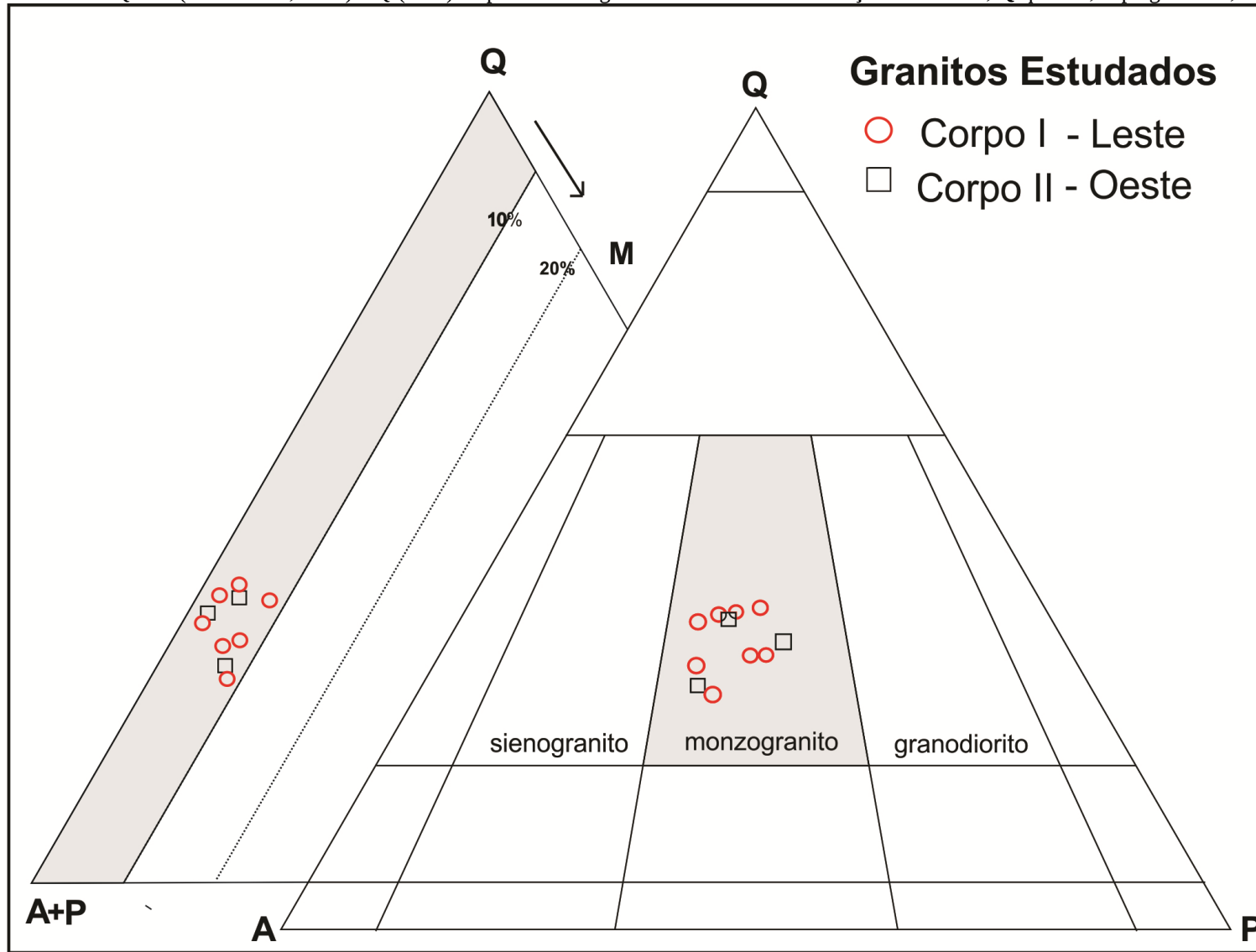
Apesar de não apresentarem grandes variações composicionais, em seções delgadas, estes plútons guardam algumas variações texturais que alternam de um corpo para outro: como por exemplo, presença de mesopertitas e de forma restrita de feições de intercrescimento granofírico que ocorrem apenas no corpo II.

Tabela 1: Composições modais dos corpos plutônicos estudados na região de Canaã dos Carajás.

Granitos estudados	Corpo I								Corpo II		
Amostras	18	20	22	28	54	51	FDM-01	FDM-04	AI-14	AI-41	AI-62*
Quartzo	34,8	35,8	31,9	25,4	30,4	34,2	29,4	36,2	26,6	33,2	35,4
K-feldspato	27,5	36,2	31,5	36,3	32,1	31,7	38,0	31,5	37,5	28,9	32,5
Plagioclásio	28,1	24,3	33,3	27,9	30,6	24,8	25,9	27,3	26,4	33,8	26,6
Biotita	8,0	2,0	2,1	8,0	4,1	3,9	5,4	4,1	7,0	2,1	4,6
Clorita	0,1	1,2	0,9	0,5	1,4	2,5	0,2	-	0,4	1,7	0,6
Opacos	0,7	0,2	0,4	0,7	0,3	0,9	0,4	0,6	1,1	0,1	0,1
Allanita	0,4	-	-	0,5	0,5	0,4	0,2	0,2	0,3	-	0,3
Epidoto	-	0,1	-	0,1	-	0,6	-	-	0,2	-	-
Muscovita	-	-	-	-	0,3	0,3	0,1	-	-	0,1	0,1
Zircão	0,4	-	-	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Apatita	0,1	0,2	-	0,3	0,2	0,4	0,2	0,1	0,2	-	-
Fluorita	-	0,1	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-
Félsicos	90,3	96,3	96,7	89,7	93,2	90,7	93,3	95,0	90,5	95,9	94,4
Máficos	8,0	2,0	2,1	8,0	7,2	3,9	5,4	4,1	5,0	2,1	4,6
A 100%											
Quartzo	38,5	37,2	33,0	28,4	32,7	37,7	31,5	38,1	29,3	34,6	37,5
K-feldspato	30,4	37,6	32,5	40,5	34,5	35,0	40,7	33,1	41,4	30,1	34,4
Plagioclásio	31,1	25,2	34,5	31,1	32,9	27,3	27,8	28,7	29,2	35,2	28,1
Pl/Mc	1,0	0,7	1,1	0,8	1,0	0,8	0,7	0,9	0,7	1,2	0,8
Nº de Pontos	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0

*Intercrescimentos: quartzo + feldspato potássico; (-) não observado; Pl-Plagioclásio; Mc-Microclina

Figura 5: Diagramas modais Q-A-P (Streckeisen, 1976) e Q-(A+P)-M para os dois granitos estudados. **Abreviações:** A-álcalis, Q-quartzo, P-plagioclásio, M-máficos.



Fonte: Modificado de Streckeisen (1976).

O *álcali feldspato* é um mineral predominante em todas as amostras ocorre como cristais subédricos a anédricos, geralmente muito fraturados; mostram evidências de reação com o magma, já que suas bordas são em parte corroídas ou meio arredondadas. Apresenta maclamento *carlsbad* e xadrez e exsolução peritítica, resultando em lamelas de albita (Figura 6a). As lamelas de albita ocorrem na forma de filmes levemente ondulados (Figura 6a), esses podem ocorrer também como manchas disformes (Figura 7a). Nos cristais que apresentam maclamento xadrez as lamelas albiticas não são tão nítidas, já nos cristais com maclamento *carlsbad* as lamelas estão bem evidenciadas. Os contatos entre dois ou mais cristais de álcali feldspatos são geralmente suturados e por vezes marcados por um processo de albitização (Figuras 6b, 6c e 7b), caracterizado pelo desenvolvimento de bordas albiticas que ocorrem na forma de ‘*franjas*’ de cristais de albita que se projetam para o interior do cristal adjacente, gerando uma textura conhecida como ‘coroa invertida’ (*swapped rims*) que imprimem um aspecto xenomórfico a esses grãos. Contém inclusões de plagioclásio, opacos, quartzo e biotita resultando em um aspecto tardio ao mineral. Outra feição é a ocorrência mais restrita de intercrescimento granofírico circundando o núcleo de grandes cristais de feldspato potássico (Figura 7c e 7d), indicando uma provável cristalização cotética no estágio final de sua cristalização.

O *Plagioclásio* ocorre como grãos subédricos a anédricos comumente apresentam maclamento albita fortemente alterado para sericita, muscovita e clorita (Figura 6d) o que impossibilita a determinação do An (composição) por meios óticos. Ocorre por vezes na forma de agregados de grãos ou na forma de inclusões em álcali feldspatos, onde aparece como cristais de dimensões menores, anédricos a subédricos, por vezes zonados. Pode ocorrer também como preenchendo os planos de clivagem da biotita (Figura 7e).

O *Quartzo* ocorre como grãos anédricos, subarredondados que comumente formam agregados, com extinção ondulante. Outro tipo morfológico de quartzo ocorre como intercrescimento na borda de cristais de álcali feldspato gerando textura granofírica. Este pode ocorrer também como preenchimento de fraturas ou na forma de preenchimento dos planos de clivagem da biotita.

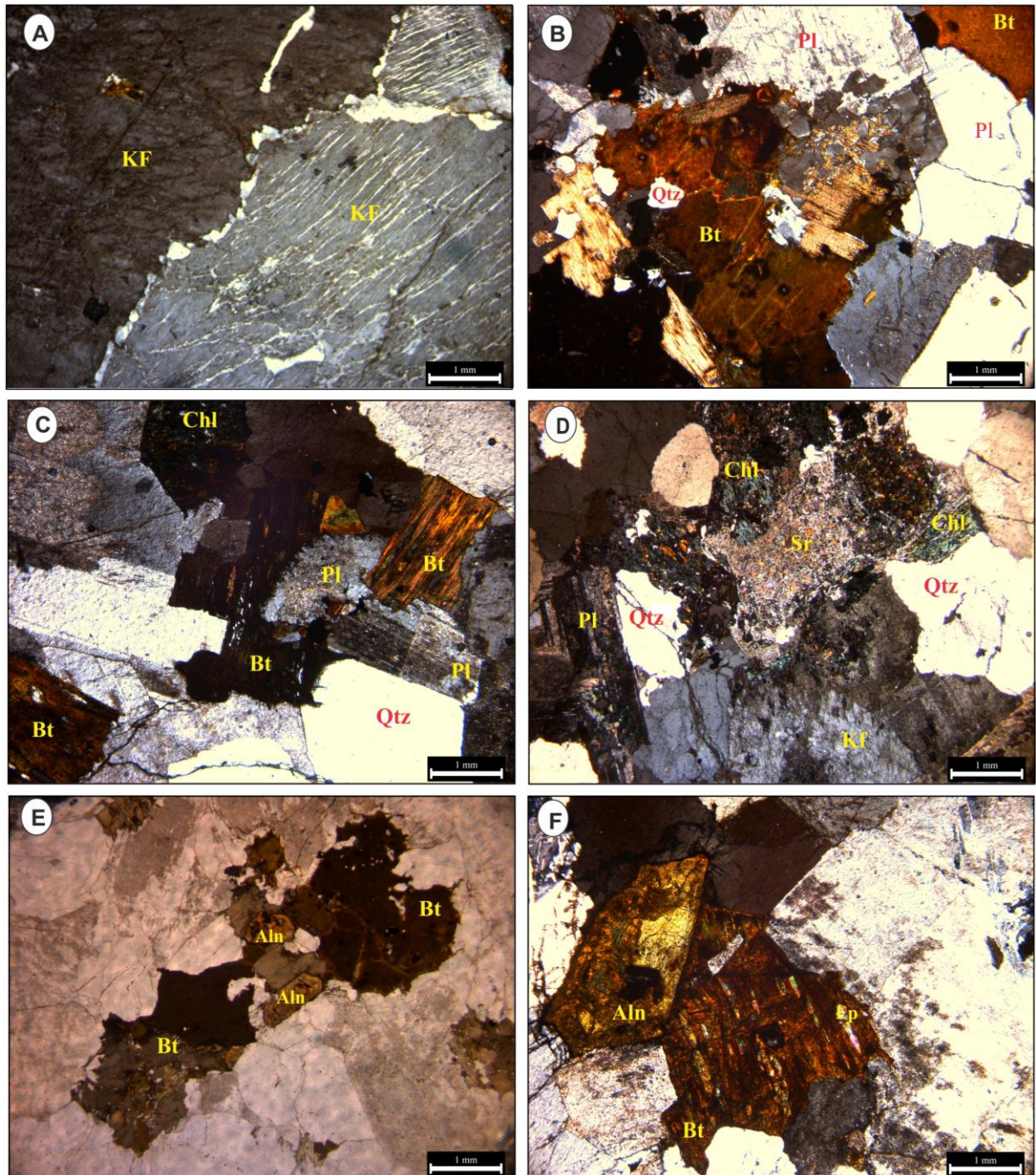
A *biotita* é o mineral máfico mais importante, seus cristais são subédricos a anédricos, com forte pleocroísmo com cores variando de verde, marrom escuro, marrom a amarelo claro. Representa tipicamente um mineral de cristalização tardia, muitas vezes mostrando-se alterado parcialmente para clorita e por vezes apresentando contatos interpenetrados com cristais de álcali-feldspato. Por vezes ocorre na forma de agregados maficos em associação

com: biotita + opacos + zircão + fluorita + allanita + apatita (Figura 6e, 6f), exibindo contato mais regular com os principais acessórios. Contem inclusões de quartzo, allanita, zircão e apatita. Cristais de biotita podem ocorrer também na forma de pequenos cristais euédricos inclusos em álcali feldspato. Outra feição importante é a presença de epidoto, apatita, quartzo e clorita cristalizada ao longo dos planos de clivagem da biotita (Figura 7f).

Os *minerais acessórios* como allanita, apatita, opacos, zircão, fluorita e epidoto ocorrem frequentemente associados à biotita. A *allanita* é o mineral acessório mais expressivo e ocorre como cristais subédricos a euédricos, finos a médios, normalmente zonados e metamictizados, associados aos cristais de biotita, opacos, fluorita e mais localmente ao epidoto, com pleocroísmo variando de amarelo pálido a castanho. Os cristais de *apatita* são anédricos, raramente prismáticos alongados, comumente ocorrem como inclusões em cristais maiores de biotita e minerais opacos. A *Fluorita* ocorre como pequenos cristais anédricos (Figura 7f), geralmente associados a minerais opacos, allanita e biotita. O *Zircão* ocorre como pequenos cristais euédricos a subédricos, por vezes zonados e com alios pleocroicos, geralmente ocorrem na forma de inclusões em cristais maiores de biotita. Cristais de *Epidoto* geralmente ocorre preenchendo os planos de clivagem da biotita. Os minerais *Opacos* são subédricos a euédricos e ocorrem associados aos agregados máficos, geralmente inclusos na biotita ou associado à clorita, fluorita e allanita.

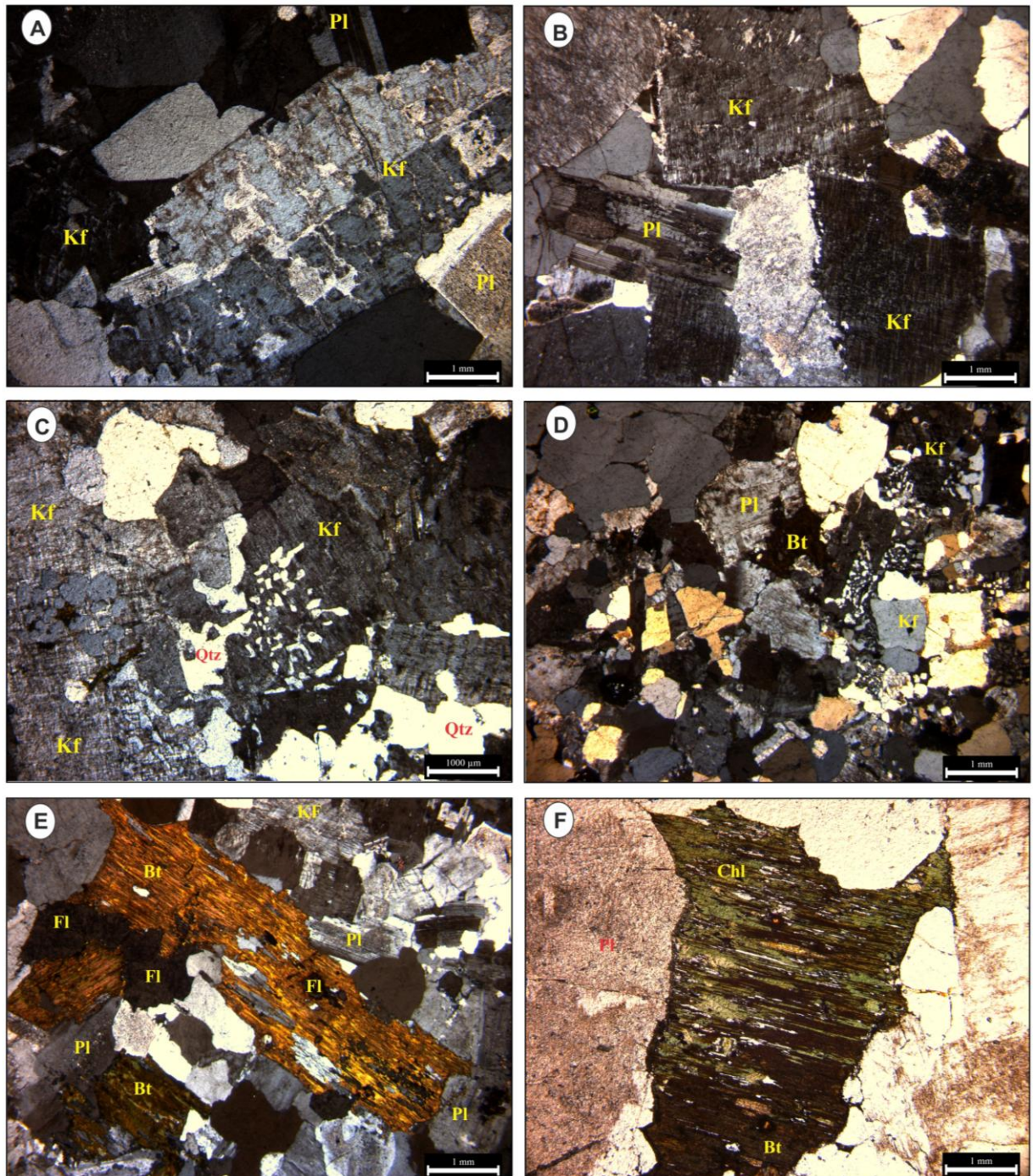
Os *minerais secundários* são argilo minerais, sericita, muscovita, fluorita, clorita e albita relacionados aos processos de alteração pós-magmática. A albita ocorre em diversas formas, sendo mais comum na forma de lamelas sódicas que se desenvolvem inicialmente por exsolução no interior do feldspato alcalino e são posteriormente modificadas resultando em pertitas na forma de veios e ‘manchas’. Porém, em rochas onde a albitização foi mais intensa, há igualmente formação de albita intergranular das variedades texturais em coroas trocadas, estas são interpretadas como sendo produto da substituição do feldspato alcalino. A fluorita ocorre como cristais anédricos, produto da alteração do plagioclásio ou ao longo das clivagens da biotita. A muscovita, argilo minerais e sericita ocorrem como produto da alteração dos feldspatos. A clorita ocorre como resultado da alteração de cristais de biotita.

Figura 6: Principais aspectos mineralógicos e texturais microscópicos das rochas que compõem o corpo I. A) Álcali feldspatos pertíticos (as pertitas formam filmes contínuos e regulares) nota-se a presença de albita intergranular ao longo do contato entre cristais de álcali-feldspato. B) Representação do caráter hipidiomórfico da rocha com destaque para a relação de contato irregular entre a biotita e o plagioclásio. C) Relação de contato irregular entre cristais de biotita e plagioclásio nota-se também a alteração parcial da biotita para clorita e a intensa sericitização do plagioclásio. D) Saussuritização do plagioclásio gerando sericita e muscovita percebe-se também a associação deste com biotita. E) Concentração de minerais ferromagnesianos, onde a o predomínio de cristais de biotita associados a minerais opacos e allanita, com inclusões de zircão e apatita; F) Cristal de biotita associado a allanita, ocorrência de epidoto e plagioclásio cristalizados ao longo dos planos de clivagem da biotita. **Abreviações:** Kf- álcali-feldspato, Pl- plagioclásio, Qtz- quartzo, Bt- biotita, Fl- fluorita, Chl- clorita, Sr- sericita, Aln- allanita, Ep- epidoto.



Fonte: Do autor

Figura 7: Principais aspectos mineralógicos e texturais microscópicos das rochas que compõem o corpo II. A) Cristal de feldspato potássico com maclamento carlsbad e feições de exsolução (mesoperititas); B) Agregados de feldspatos potássico com formação de albita intergranular ao longo de seus contatos; C) Cristal de feldspato potássico com intercrescimento de quartzo granofírico; D) Cristal de feldspato potássico com intercrescimento de quartzo granofírico; E) Cristal de biotita associado a cristais de fluorita, nota-se ainda a presença de plagioclásio ao longo dos planos de clivagem da biotita além de inclusões de cristais menores de apatita; F) Cristal de biotita intensamente transformado para clorita, com formação de cristais de epidoto e plagioclásio ao longo de seus planos de clivagem. **Abreviações:** Kf- álcali-feldspato, Pl- plagioclásio, Qtz- quartzo, Bt- biotita, Fl- fluorita, Chl- clorita.



Fonte: Do autor

3.2 Geoquímica

3.2.1 Análises geoquímicas

Para o estudo geoquímico foram realizadas análises químicas em rocha total de 7 amostras, sendo cinco representativas do Corpo I e duas representativas do Corpo II. Os dados das análises químicas são apresentados na tabela 2. Nesta tabela, também estão representadas razões específicas entre óxidos, elementos traços e terras raras, as quais serão utilizadas para estabelecer parâmetros de comparação e definir as afinidades petrológicas destes plútons. Os dados geoquímicos obtidos neste trabalho foram confrontados com aqueles dos granitos meso- e neorqueanos, e, sobretudo, do Paleoproterozoico, disponíveis na literatura, onde se destacam os granitos Boa Sorte e Cruzadão (RODRIGUES et al., 2011; FEIO *et al.*, 2013; respectivamente), granitos da suíte Planalto (FEIO et al., 2012), Jamon (OLIVEIRA et al., 2006; ALMEIDA et al., 2006), Velho Guilherme (TEIXEIRA et al., 2005) e Serra dos Carajás (DALL'AGNOL et al., 1994, SANTOS et al., 2013).

3.2.1.1 Elementos Maiores

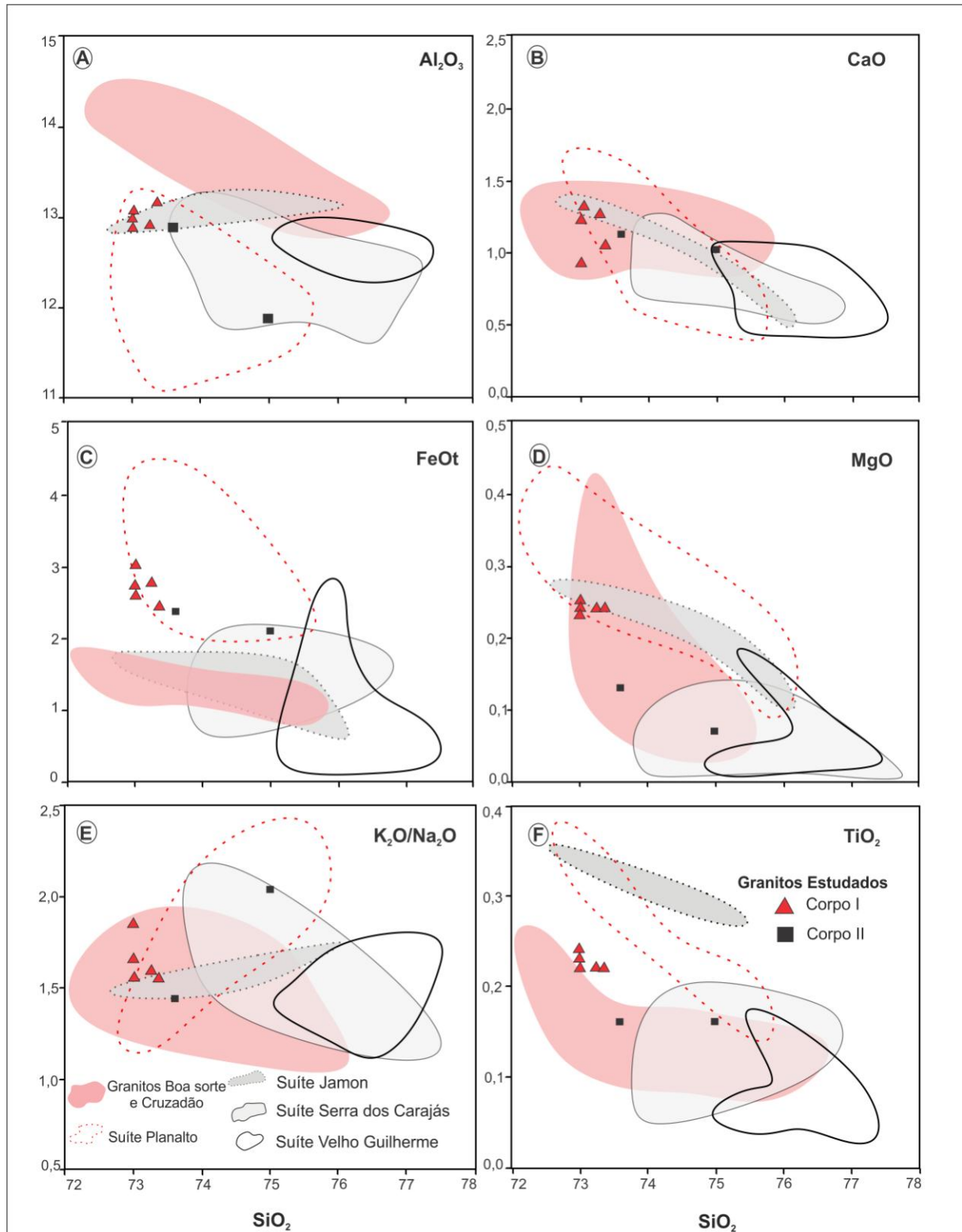
Em termos de elementos maiores e menores (Tabela 2, Figuras 8 e 9), nota-se que os plútons estudados são fortemente fracionados, apresentando alto teor de SiO_2 ($72,98\% < \text{SiO}_2 > 74,99\%$), forte empobrecimento em MgO ($< 1\%$) e baixas concentrações de TiO_2 ($0,16-0,24\%$), MgO ($0,07-0,25\%$), MnO ($0,01-0,04\%$), P_2O_5 ($0,04-0,05\%$), CaO ($0,92-1,30\%$) e Fe_2O_3 ($2,33-3,32\%$). São ainda enriquecidos em K_2O ($4,96-5,58\%$) com razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ entre 1 e 2. Diagramas de variação de óxidos, como os que utilizam o índice de Harker (Figura 8), mostram que há uma grande afinidade composicional entre os granitos estudados, no entanto, observa-se que os teores de MgO , TiO_2 e FeO das amostras do Corpo I são ligeiramente mais elevados em relação aquelas do Corpo II, com a somatória destes óxidos variando de $2,89-3,47\%$ e $2,33-2,67\%$, respectivamente. Este comportamento mostra a tendência do corpo I ser mais enriquecido em minerais ferromagnesianos em relação ao Corpo II.

Tabela 2: Composições químicas dos granitos estudados.

Granitos Estudados	Corpo I					Corpo II	
AMOSTRA	FDM-04	54	28	FDM-01	51	AL-14	AL-62
SiO ₂	73,0	73,0	73,0	73,2	73,4	73,6	75,0
TiO ₂	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Al ₂ O ₃	13,0	12,9	13,1	12,9	13,2	12,9	11,9
Fe ₂ O ₃ t	3,0	3,3	2,9	3,1	2,7	2,6	2,3
MnO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MgO	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
CaO	1,2	0,9	1,3	1,3	1,0	1,1	1,0
Na ₂ O	3,1	2,9	3,3	3,1	3,2	3,5	2,7
K ₂ O	5,1	5,4	5,1	5,0	5,0	5,0	5,6
P ₂ O ₅	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
LOI	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	1,0
Total	99,7	99,0	99,1	99,1	99,0	99,8	99,8
Traços (ppm)							
Ba	647,0	712,0	683,0	691,0	663,0	438,0	493,0
Rb	331,0	289,4	313,3	313,8	265,2	307,8	260,3
Sr	82,4	88,5	95,9	94,7	94,6	56,9	49,8
Pb	17,0	18,1	nd	nd	18,6	21,6	10,8
Th	72,5	76,5	80,7	84,1	82,9	94,0	35,5
U	23,0	15,8	18,3	20,7	16,2	25,5	13,0
Zr	368,0	260,3	209,7	232,3	247,3	238,5	187,7
Nb	45,4	34,9	35,1	38,3	27,3	56,3	26,0
Y	49,2	22,8	62,2	56,6	24,6	96,8	55,0
Ni	2,4	3,3	3,7	4,7	3,6	1,9	2,1
Co	23,2	30,9	nd	nd	23,2	22,8	24,3
Cu	8,6	8,2	nd	nd	10,0	19,8	10,8
Zn	23,0	15,0	nd	nd	14,0	17,0	13,0
Ga	22,0	20,1	20,9	21,2	21,2	27,7	21,6
ETR (ppm)*							
La	153,5	155,6	156,8	161,6	168,3	101,7	117,7
Ce	248,2	259,6	279,4	289,8	275,9	202,3	225,1
Pr	25,3	25,1	27,5	27,5	25,6	21,5	23,2
Nd	80,0	76,9	86,6	86,2	80,9	71,8	78,3
Sm	11,4	12,6	13,1	12,9	12,5	13,0	13,0
Eu	1,0	1,1	1,0	1,0	1,2	0,8	0,9
Gd	8,5	10,0	11,7	11,6	9,3	13,3	11,1
Tb	1,5	1,3	1,7	1,7	1,3	2,4	1,8
Dy	8,5	6,3	10,4	10,0	6,1	15,2	10,6
Ho	1,7	1,0	2,1	2,1	0,9	3,4	2,1
Er	5,4	2,6	6,7	6,2	2,7	11,0	6,4
Tm	0,9	0,4	1,1	1,0	0,4	1,7	0,9
Yb	5,9	2,5	6,6	6,5	2,7	11,5	6,2
Lu	0,9	0,4	1,1	1,0	0,4	1,8	0,9
K ₂ O/Na ₂ O	1,6	1,8	1,6	1,6	1,5	1,4	2,0
FeOt	2,7	3,0	2,6	2,8	2,4	2,4	2,1
FeOt/(MgO+FeOt)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0
A/CNK	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Ga/Al	3,2	2,9	3,0	3,0	3,0	4,1	3,4
Y/Nb	1,1	0,7	1,8	1,5	0,9	1,7	2,1
Rb/Sr	4,0	3,3	3,3	3,3	2,8	5,4	5,2
Rb/Ba	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,7	0,5
(La/Yb)N	17,3	41,5	15,8	16,7	41,7	5,9	127,0
ΣETR	552,6	555,4	605,7	619,0	588,2	471,4	498,2
ΣETR Leves	519,4	530,9	564,4	579,0	564,4	411,0	457,3
ΣETR Pesados	33,2	24,5	41,3	40,1	23,8	60,3	39,9
Eu/Eu*	0,018	0,017	0,019	0,019	0,018	0,010	0,013

* Valores normalizados segundo Nakamura (1974).

Figura 8: Diagramas de Harker para os óxidos de elementos maiores dos granitos estudados, em comparação com granitos das Suítes Paleoproterozoicas – Jamon (OLIVEIRA et al., 2006; ALMEIDA et al., 2006), Serra dos Carajás (DALL'AGNOL et al., 1994, SANTOS et al., 2013) e Velho Guilherme (TEIXEIRA et al., 2005) e leucogranitos arqueos (RODRIGUES et al., 2011; FEIO et al., 2012), e com a Suíte Planalto (FEIO et al., 2012) do Domínio Carajás. A) Al_2O_3 ; B) CaO ; C) FeOt ; D) MgO ; E) $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$; F) TiO_2 .



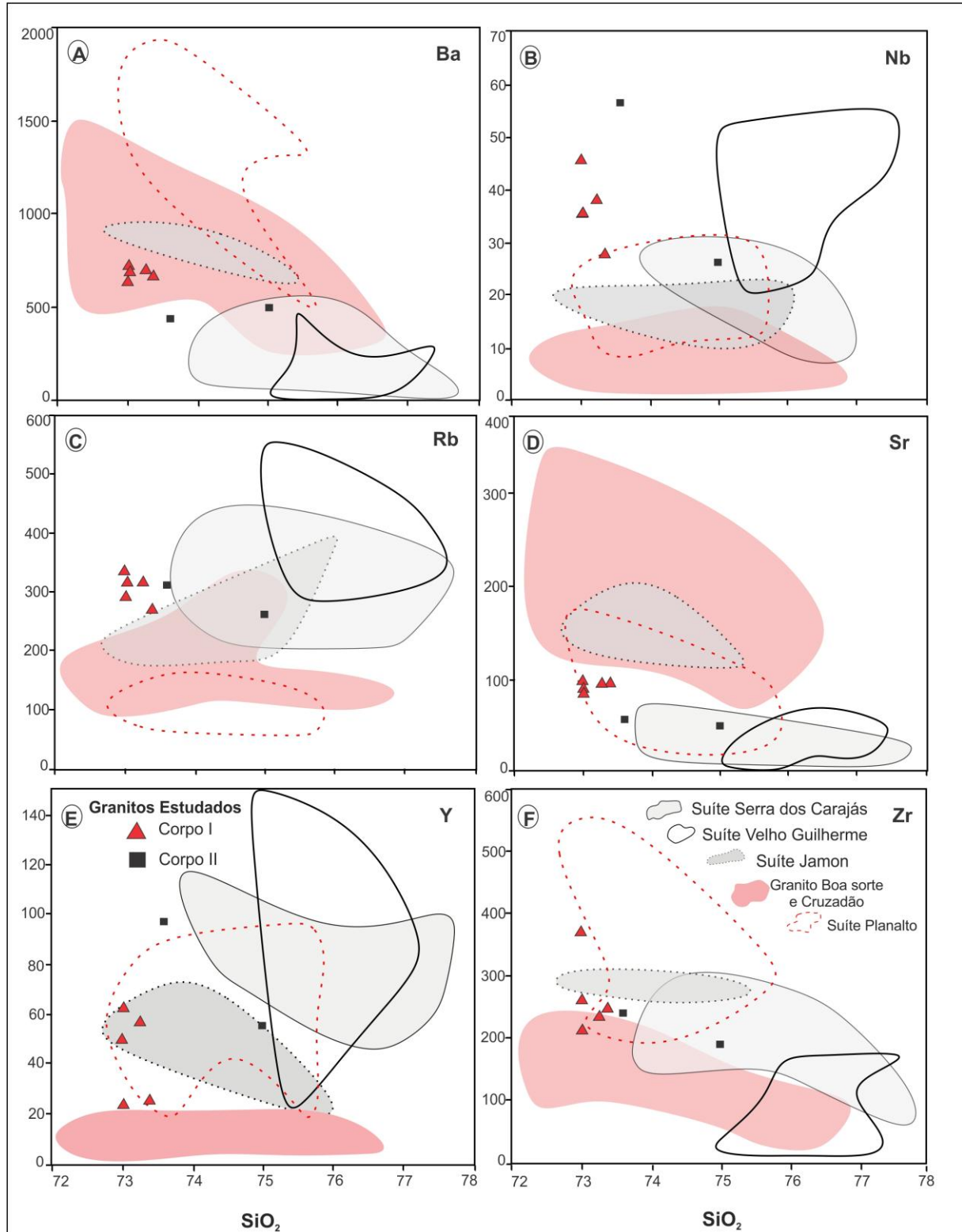
Fonte: Do autor

3.2.1.2 Elementos Traços e Terras Raras (ETRs)

A distribuição dos principais elementos traços nas rochas estudadas pode ser visualizada nos diagramas binários de variação da figura 9. Da mesma forma ao que foi observado para os elementos maiores e menores, os corpos estudados apresentam pouca variação no conteúdo de elementos traços de suas amostras, com baixos valores para Sr (49,8 - 95,9 ppm) e moderados para Y (22,8 - 96,8 ppm), Nb (26 - 56,3 ppm), Ba (438 - 712 ppm), Rb (260,3 - 331 ppm) e Zr (187,7 - 368 ppm). No entanto, o caráter ligeiramente mais evoluído das rochas do corpo I também é confirmado pelos conteúdos, em média, mais baixos em Ba, Sr e Zr em relação àsquelas do corpo II. Tal comportamento é condizente com um maior grau de fracionamento de plagioclásio, biotita, zircão para formação do granito I.

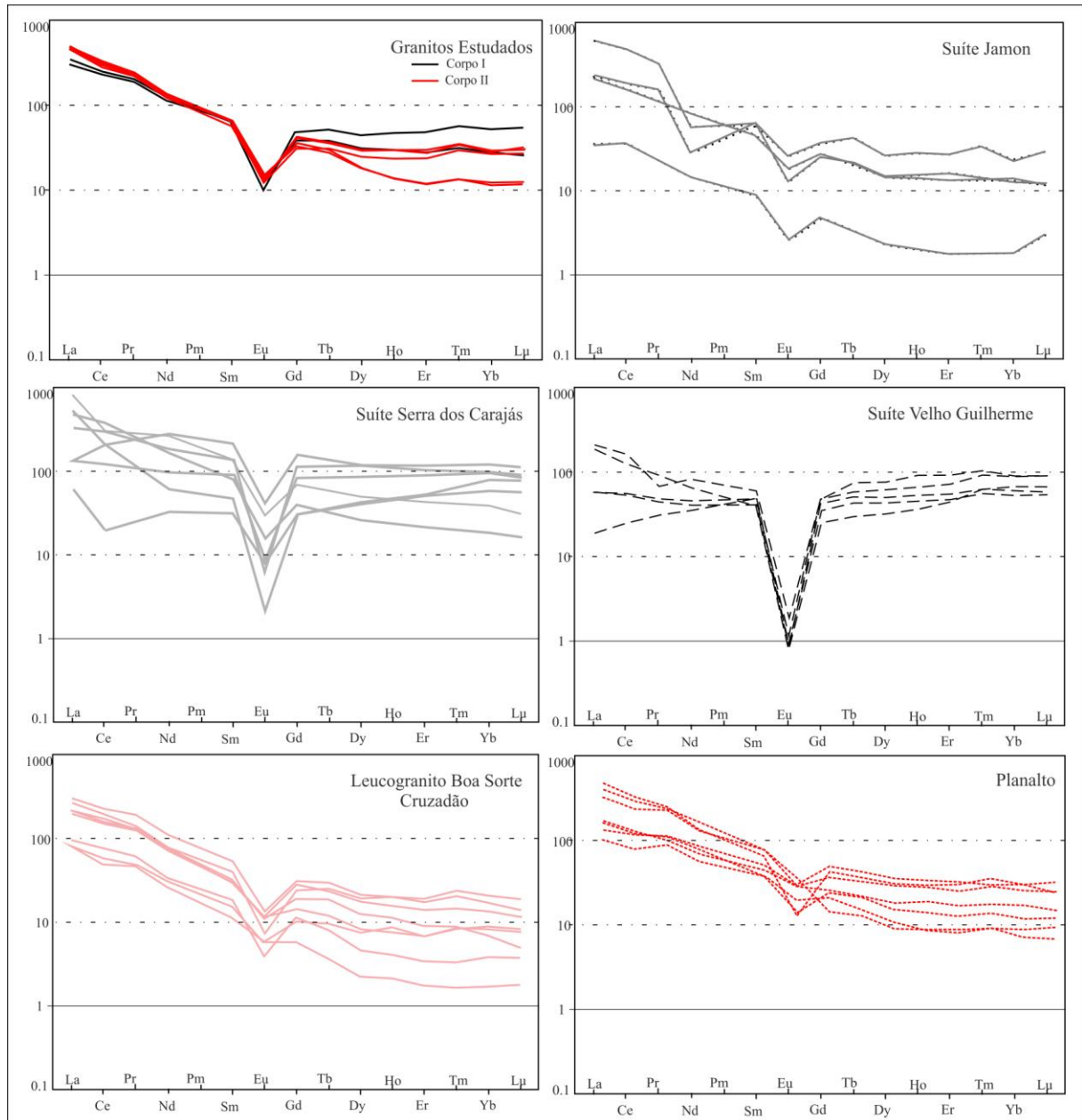
Os padrões de elementos terras raras (ETR) das amostras analisadas foram normalizadas segundo Nakamura (1974), e em geral, as rochas estudadas apresentam altos conteúdos do somatório de elementos terras raras ($\Sigma\text{ETR} = 471,36 - 619,04$ ppm), com padrões de distribuição mostrando o fracionamento de elementos terras raras leves ($\text{La}_N/\text{Sm}_N = 4,90 - 8,45$) com padrão inclinado, e um pouco mais sub-horizontalizado para os elementos terras raras pesados (Figura 10). As razões $(\text{La}/\text{Yb})_N$ variam de 15,84 a 41,49 ppm para o Corpo I e, 5,90 a 126,97 ppm para o Corpo II. Tais padrões resultariam, sobretudo, do grau de fracionamento de minerais acessórios, como allanita, apatita e zircão, uma vez que em magmas evoluídos, os ETR possuem coeficiente de partição elevado para estes minerais. Assim como apresentado por granitos evoluídos, onde o fracionamento expressivo de Eu determina padrões em “gaivota”, para os plútons estudados, que exibem uma moderada anomalia negativa de Eu, com valores $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,017-0,019$ para o Corpo I e $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,010-0,013$ para as rochas do Corpo II (Figura 10).

Figura 9: Diagramas de Harker para os elementos-traço dos granitos estudados, em comparação com granitos das Suítes Paleoproterozoicas – Jamon (OLIVEIRA et al., 2006; ALMEIDA et al., 2006), Serra dos Carajás (DALL’AGNOL et al., 1994; SANTOS et al., 2013) e Velho Guilherme (TEIXEIRA et al., 2005) e leucogranitos arqueos (RODRIGUES et al., 2011; FEIO et al., 2012), e com a Suíte Planalto (FEIO et al., 2012) do Domínio Carajás. A) Ba; B) Nb; C) Rb; D) Sr; E) Y; F) Zr.



Fonte: Do autor

Figura 10: Padrão dos ETRs dos granitos estudados, em comparação com granitos das Suítes Paleoproterozoicas – Jamon (OLIVEIRA et al., 2006; ALMEIDA et al., 2006), Serra dos Carajás (DALL’AGNOL et al., 1994; SANTOS et al., 2013) e Velho Guilherme (TEIXEIRA et al., 2005) e leucogranitos arqueos (RODRIGUES et al., 2011; FEIO et al., 2012), e com a Suíte Planalto (FEIO et al., 2012) do Domínio Carajás, normalizados em relação ao condrito de Nakamura et al., (1974).



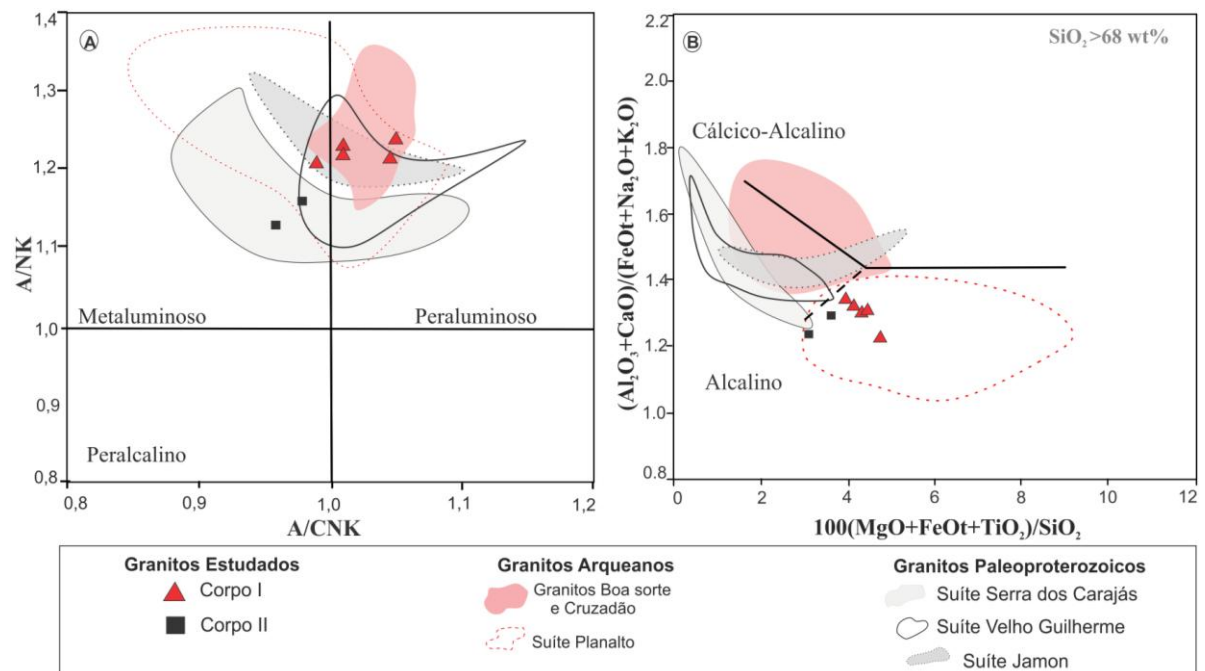
Fonte: Do autor

3.2.2 Classificação, Ambiente Tectônico e Tipologia de Granitos.

As rochas estudadas exibem natureza alcalina e apresentam caráter metaluminoso a peraluminoso, como é evidenciado na figura 11 (a, b respectivamente), que expressa a proporção molecular de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (SHAND, 1943). No diagrama de definições de series magmáticas de Sylvester (1989), as amostras dos granitos estudados demonstram

afinidade com rochas alcalinas juntamente com as amostras da suíte Planalto, enquanto que os outros grupos de granitos plotam no campo das rochas alcalinas e cálcico-alcalinas fortemente fracionadas (Figura 11).

Figura 11: Caracterização geoquímica dos granitos estudados em comparação com granitos das Suítes Paleoproterozoicas – Jamon (OLIVEIRA *et al.* 2006; ALMEIDA *et al.* 2006), Serra dos Carajás (DALL’AGNOL *et al.* 1994, SANTOS *et al.* 2013) e Velho Guilherme (TEIXEIRA *et al.* 2005) e leucogranitos arqueanos (RODRIGUES *et al.* 2011; FEIO *et al.* 2012), e com a Suíte Planalto (FEIO *et al.* 2012) do Domínio Carajás. A) Diagrama de Shand (1943) destacando o caráter peraluminoso a fracamente metaluminoso dos granitos estudados. B) Diagrama de discriminação de granitos (Sylvester, 1989), que caracteriza os granitos estudados como alcalinos.

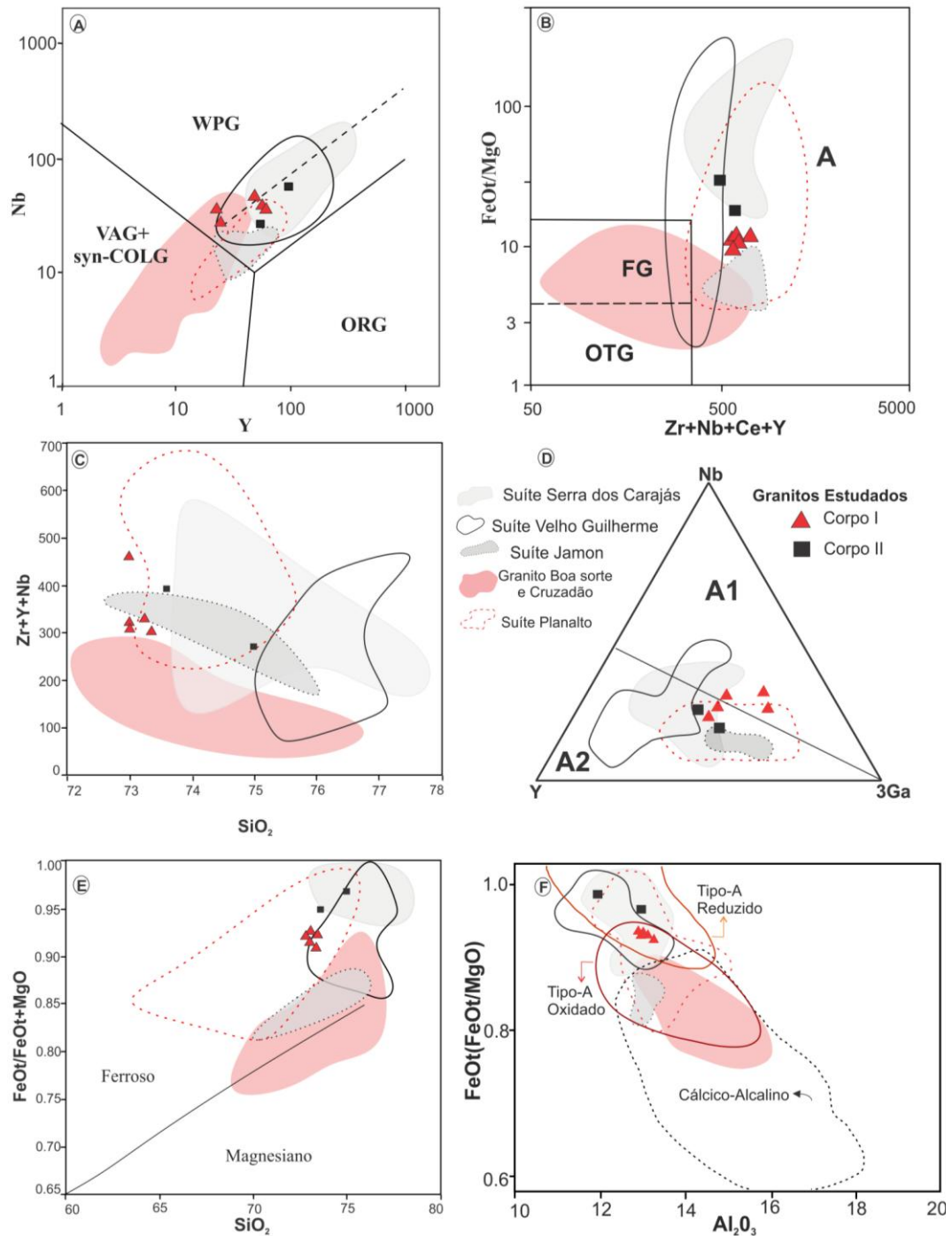


Fonte: Do autor

Os diagramas que utilizam padrões de distribuição para elementos traços são utilizados para discriminação de ambientes tectônicos de rochas graníticas. Neste sentido, utilizando o parâmetro de Pearce *et al.* (1984), com a relação Nb – Y (Figura 12a), nota-se que as amostras dos granitos estudados concentram-se no campo daqueles de afinidade intraplaca (WPG). Aliado a isto, seus valores elevados de SiO_2 (> 70%), Zr, Nb, Y, Ga, ETR, e da razão Fe/Mg, assim como seus baixos conteúdos de CaO, TiO_2 , MgO, Ba e Sr, os aproximam dos granitos do Tipo-A de Whalen *et al.* (1987). Para o diagrama que utiliza a relação entre as razões FeOt/MgO e os conteúdos de Y+Nb+Zr (Figura 12b, 12c), os granitos estudados mostram claras afinidades geoquímicas com os granitos tipo-A. Neste sentido, o diagrama Nb-Y-3Ga de Eby (1992), que é utilizado para discriminar a afinidade em relação a fonte de granitos, nota-se que os plútons estudados são afins daqueles do subtipo A2, para o qual é atribuído fontes crustais (Figura 12d).

A classificação proposta por Frost et al., (2001), que utiliza índice de Fe para distinguir granitos ferrosos de granitos magnesianos, pode ser visualizada no diagrama $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO})$ versus SiO_2 . Para o conjunto de amostras analisada, os valores da razão $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO})$ são considerados elevados e sempre superiores a 0,9, incidindo no campo dos granitos ferrosos (Figura 12e). Esta razão também foi utilizada por Dall'Agnol e Oliveira (2007) para distinguir granitos tipo A de granitos cálcio-alcalinos bem como granitos oxidados de granitos reduzidos. Na Figura 12f, as amostras analisadas apresentam um comportamento levemente distinto: as amostras pertencentes ao Corpo II mostram um caráter reduzido, enquanto que aquelas do Corpo I apresentam caráter levemente oxidado.

Figura 12: Diagramas de classificação de Ambiente Tectônico e Tipologia de Granitóides dos granitos estudados em comparação com granitos das Suítes Paleoproterozoicas – Jamon (OLIVEIRA et al., 2006; ALMEIDA et al., 2006), Serra dos Carajás (DALL’AGNOL et al., 1994; SANTOS et al., 2013) e Velho Guilherme (TEIXEIRA et al., 2005) e leucogranitos arquenos (RODRIGUES et al., 2011; FEIO et al., 2012), e com a Suíte Planalto (FEIO et al., 2012) do Domínio Carajás. A) Representação das amostras analisadas em diagramas de Pearce et al., (1984). WPG (Granito Intraplaca); syn-COLG (Granito Sincolisional); VAG (Granito de Arco Vulcânico); ORG (Granito de Cadeia Oceânica). B) Representação das amostras analisadas no diagrama de Whalen et al. (1987), A (granito anorogênico); FG (granito fracionado); OGT (granito não fracionado). C) Diagramas de HSFE vs SiO_2 . D) Subdivisão de granitos tipo A de Eby (1992) com representação dos campos associados e campos comparativos. E) Diagrama $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$ versus sílica (Frost et al., 2001); F) Diagrama $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$ versus Al_2O_3 de Dall’Agnol e Oliveira 2007.



Fonte: Do autor

4. COMPARAÇÕES COM OUTRAS SUÍTES GRANÍTICAS

Devido à falta de dados geocronológicos dos dois plútons estudados e a ausência de feições texturais macroscópicas nestas rochas (deformacionais) que permitam realizar, de maneira geral, uma correlação clara com as suítes graníticas tanto do Arqueano quanto do Paleoproterozóico, serão discutidas neste tópico as principais diferenças e/ou afinidades geoquímicas existentes entre tais plútons e as principais associações graníticas arqueanas do Domínio Carajás (granitos cálcio-alcálicos fracionados e tipo-A) e paleoproterozoicas que ocorrem na província, tais como: Suítes Jamon (Redenção e Bannach); Velho Guilherme (Mocambo, Antônio Vicente e Velho Guilherme) e Serra dos Carajás (Serra dos Carajás e Rio Branco).

Os dados geoquímicos distinguem claramente os dois plútons estudados daqueles de assinatura cálcio-alcálica (alto-K) do Mesoarqueano, por apresentarem conteúdos mais elevados de FeOt, Rb, HFSE (Nb, Y e Zr) e da razão FeOt/(FeOt+MgO), e mais baixos de Al₂O₃ e Sr (Figuras 8,9,11 e 12e). Por outro lado, tais aspectos os aproximam daqueles de assinatura tipo-A formados tanto no Arqueano quanto no Proterozóico, como pode ser visualizado nos diversos diagramas de classificação (tipologia e ambiente de formação). Por outro lado, o caráter mais evoluído das rochas estudadas, que é evidenciado pelos conteúdos mais elevados de Rb e Nb e mais baixos de Ba e Zr em relação aos granitoides do arqueano (Figura 9), demonstra que os mesmos possuem maiores afinidades com os granitos que constituem as suítes paleoproterozóicas. Isto é corroborado pelo padrão ETR apresentados por estas rochas, que apesar de tanto os granitos arqueanos quanto aqueles do paleoproterozóico apresentarem baixas a moderadas razões La/Yb, somente aqueles do paleoproterozóico apresentam anomalias de Eu acentuadas a moderada, enquanto que nos arqueanos a anomalia negativa de Eu é discreta.

Assim como apontado pelos dados geoquímicos, os plútons estudados mostram fortes afinidades mineralógicas e texturais com os granitos paleoproterozoicos. Em termos petrográficos, são formados por rochas monzograníticas com conteúdo de minerais máficos, em sua maioria, inferiores a 5%. Apresentam ainda, conteúdos significativos de fluorita e allanita, e ausência de anfibólio e titanita magmática. Sob tais aspectos, os plútons estudados mostram fortes afinidades com os granitos das suítes Velho Guilherme e Serra dos Carajás, onde nos primeiros não ocorre titanita magmática e há um enriquecimento em fluorita e

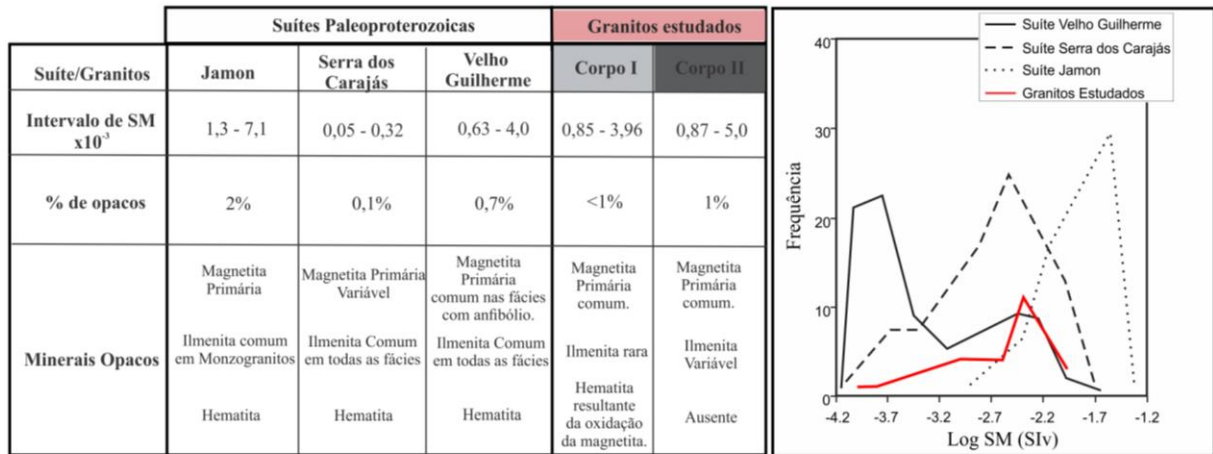
topázio, e nos últimos, a titanita é rara ou ausente, sendo fluorita e allanita mais frequentes (DALL'AGNOL, OLIVEIRA, 2007). No entanto, divergem daqueles apresentados pelos granitos oxidados da Suíte Jamon, os quais apresentam conteúdo de minerais ferromagnesianos elevados, entre 5 e 20%, onde a titanita magmática é uma fase comum, juntamente com zircão, apatita, magnetita, ilmenita e allanita. Já em relação aos granitos neoarqueanos de assinatura tipo-A e que constituem a Suíte Planalto, os aspectos texturais e mineralógicos apresentados pelos plútons estudados são ainda mais contrastantes, uma vez que os primeiros apresentam conteúdos elevados de minerais ferromagnesianos (8-25%) e acessórios primários (~1,5%), além de feições deformacionais marcantes e presença frequente de *enclaves* máficos.

Com base no que foi apresentado acima, nota-se uma clara afinidade dos corpos estudados com aqueles pertencentes às suítes graníticas do paleoproterozóico, em especial às suítes Velho Guilherme e Serra dos Carajás. Neste sentido, nota-se que nos diagramas que utilizam o índice de Fe ($\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO})$) como parâmetro de classificação de granitos, como aqueles de Frost et al. (2001) e Dall'Agnol e Oliveira (2007), as amostras estudadas coincidem com o campo dos granitos ferrosos reduzidos (Corpo II) a levemente oxidados (Corpo I), atestando suas afinidades pelas suítes Velho Guilherme e Serra dos Carajás, respectivamente, e afastando-as claramente do campo dos granitos oxidados da Suíte Jamon (Figura 12). No entanto, no que se refere à amplitude das anomalias negativas de Eu apresentados pelas suítes paleoproterozoicas de Carajás, aquelas de amplitude moderada presentes nos granitos estudados, são bastante distintas daquelas acentuadas apresentadas pelos corpos da Suíte Velho Guilherme, mas que se assemelham, neste aspecto, com algumas amostras que constituem a Suíte Serra dos Carajás (Figura 10).

Visando reforçar as afinidades petrológicas atribuídas aos corpos estudados, foram obtidos dados de susceptibilidade magnética (SM) e de caracterização de minerais opacos, os quais estão representados no quadro e histograma de frequência da figura 13, juntamente com as demais informações sobre as assinaturas magnéticas das suítes paleoproterozoicas de Carajás. Os valores de SM estão relacionados, sobre tudo, ao conteúdo modal de magnetita, e que sob estes aspectos, as rochas estudadas se aproximam dos granitos reduzidos, com intervalo de SM entre $0,85 \cdot 10^{-3}$ a $5,0 \cdot 10^{-3}$ SI (Figura 13). Neste sentido, fica nítido no histograma de frequência da figura 12, que o comportamento magnético dos granitos estudados assemelha-se principalmente aquele dos granitos moderadamente oxidados da Suíte Serra dos Carajás, onde existe uma coincidência entre os limites de seus valores de SM, e que

são divergentes daqueles mais baixos dos corpos das suítes Velho Guilherme e elevados da Suíte Jamon.

Figura 13: Quadro e histogramas comparativos de dados de Susceptibilidade Magnética (SM) obtidos para as amostras estudadas e assinaturas magnéticas das suítes paeoproterozóicas. (Dados para comparação obtidos de Santos et al., 2013).



Fonte: Do autor

5. CONCLUSÕES

Os dois plútons graníticos isotrópicos da região de Canaã de Carajás, os quais são intrusivos em granitoides arqueanos e que até então não haviam sido descritos na literatura, são formados por rochas hololeucocráticas de composição monzogranítica e de textura equigranular hipidiomórfica média. Apresentam aspecto de granitos evoluídos, onde a biotita é o único mineral ferromagnesiano e está frequentemente associada à fluorita. As transformações em estágio *subsolidus* são marcadas pelas ocorrências de albita, sericita, epidoto e clorita. A presença frequente de intercrescimento granofírico e fluorita apontam para colocação dos corpos em níveis crustais rasos com importante atividade de fluidos durante a fase final de cristalização dos mesmos.

Estas rochas mostram comportamento geoquímico e padrão textural que os distinguem completamente das associações graníticas arqueanas de Carajás, mas que deixam evidente suas afinidades com granitos intraplaca do tipo-A de origem crustal (subtipo A₂) e com aqueles de caráter reduzido (Corpo II) a fracamente oxidado (Corpo I), ambos apresentando elevadas razões $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO}) - \geq 0,91$. A amplitude da anomalia negativa de Eu mostrada por estas rochas, assim como a baixa razão La/Yb , é característica de granitos evoluídos que as distinguem daquelas de caráter oxidado que constituem a Suíte Jamon, mas que às aproximam dos granitos de redutores, em especial daqueles da Suíte Serra dos Carajás. A ocorrência de magnetita, mesmo que restrita nos plútons estudados, justificam os valores baixos a moderados de SM encontrados, e que reforçam o caráter reduzido a fracamente oxidado destas rochas, além de suas analogias com a Suíte Serra dos Carajás.

O contraste geoquímico existente entre os plútons estudados e os granitos da Suíte Serra dos Carajás, onde nota-se, em média, um maior enriquecimento de FeO , MgO , CaO , TiO_2 , Sr, Ba, Nb, e Zr nos primeiros, podem sugerir que a fonte de seu magma e/ou processos de evolução magmática não foram inteiramente coincidentes com aqueles já identificados para as suítes paleoproterozoicas. No entanto, apesar do significativo avanço no conhecimento destes corpos graníticos, ainda há a necessidade de se aprofundar o estudo sobre a natureza deste magmatismo, sobre tudo, a partir da obtenção de dados de química mineral, geocronológicos precisos (U-Pb) e isotópicos (Lu-Hf). Tais metas devem ser compor os principais objetivos do plano de trabalho para o desenvolvimento da dissertação do autor no Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica - UFPA.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J.A.C; DALL'AGNOL R., OLIVEIRA, D.C. Geologia, Petrografia e Geoquímica do Granito Anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 2, p. 282-295. 2006.

ALMEIDA, J.A.C; GUIMARÃES, F.V; DALL'AGNOL, R. Petrologia magnética do granito anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n.1, p. 17-36. 2007.

ALMEIDA, J.A.C; DALL'AGNOL, R; OLIVEIRA, M.A; MACAMBIRA, M.J.B; PIMENTEL, M.M; RÄMÖ, O.T; GUIMARÃES, F.V; LEITE, A.A.S; Zircon geochronology and geochemistry of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for the growth of the Archean crust of Carajás Province, Brazil. **Precambrian Research**, v. 187, p. 201-221. 2011.

ALMEIDA, J.A.C; DALL'AGNOL, R; LEITE A.A.S. Geochemistry and zircon geochronology of the Archean granite suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane, Carajás Province, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 42, p.103-126. 2013.

BARROS, C.E.M; MACAMBIRA, M.J.B; BARBEY P., SCHELLER T. Dados isotrópicos Pb-Pb em zircão (evaporação) e Sm-Nd do Complexo Granítico Estrela, Província Carajás, Brasil: implicações petrológicas e tectônicas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n.4, p. 351-358. 2004.

BARROS, C. E. M., SARDINHA A. S., BARBOSA, J. P. O.; MACAMBIRA, M. J. B. Structure, petrology, geochemistry and zircon U/Pb and Pb/Pb geochronology of the synkinematic Archean (2.7 Ga) A-type granites from the Carajás Metallogenic Province, northern Brazil. **Canadian Mineralogist**, v. 47, n.6, p. 1423-1440. 2009.

DALL'AGNOL, R; LAFON, J.M; MACAMBIRA, M.J.B. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian Province, Amazonian Craton: geochronological petrological and geochemical aspects. **Mineralogical Petrology**, v.50, p. 113-138. 1994.

DALL'AGNOL, R; COSTI, H.T; LEITE, A.A DA S; DE MAGALHÃES, M.S; TEIXEIRA, N.P. Rapakivi granites from Brazil and adjacent areas. **Precambrian Research**, v. 95, p. 9-39. 1999.

DALL'AGNOL, R; TEIXEIRA, N. P; RÄMÖ, O. T; MOURA, C. A. V; MACAMBIRA M. J. B & D. C. OLIVEIRA. Petrogenesis of the Paleoproterozoic, rapakivi A-type granites of the Archean Carajás metallogenic province, Brazil. **Lithos** v.80 (1-4), p. 101-129. 2005.

DALL'AGNOL, R; OLIVEIRA, M. A.; ALMEIDA, J. A. C; ALTHOFF, F. J. A; LEITE, A. S; OLIVEIRA, D. C; BARROS, C. E. M. Archean and Paleoproterozoic granitoids of the Carajás Metallogenic Province, eastern Amazonian Craton. In: DALL'AGNOL, R., ROSA-COSTA, L.T., KLEIN, E.L. (Eds.): **SYMPOSIUM ON MAGMATISM, CRUSTAL EVOLUTION, AND METALLOGENESIS OF THE AMAZONIAN CRATON**, 2006, Belém, PRONEX-UFPASBGNO, 99–150 (Volume and Field Trip Guide). Belém, 2006.

DALL'AGNOL, R & OLIVEIRA D. C. Oxidized, magnetite series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: implications for classification and petrogenesis of A type granites. **Lithos**, v. 93(3-4), p. 215-233. 2007.

EBY, G. N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. **Geology**, v. 20, n.7, p. 641-644. 1992.

FEIO, G.R.L; DALL'AGNOL, R; DANTAS, E.L; MACAMBIRA, M.J.B; GOMES, A.C.B; SARDINHA, A.S; SANTOS, P.A. Geochemistry, geochronology, and origin of the Neoproterozoic Planalto Granite suite, Carajás, Amazonian craton: A-type or hydrated charnockitic granites? **Lithos**, v. 151, p.57-73. 2012.

FEIO, G. R. L; DALL'AGNOL, R; DANTAS, E. L; MACAMBIRA, M. J. B; SANTOS, J. O. S; ALTHOFF, F. J; SOARES, J. E. B. Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: implications for crustal evolution of the Carajás Province, Amazonian craton, Brazil. **Precambrian Research** v. 227, p. 157-185. 2013.

FROST, B. R; BARNES, C. G, COLLINS, W. J; ARCULUS, R; JELLIS, D. J; FROST C. D. A geochemical classification for granitic rocks. **Journal of Petrology** v. 42, n.11, p. 2033-2048. 2001.

GABRIEL, E. O. **Geologia, geoquímica e petrologia magnética dos granitoides arqueanos da porção Nordeste de Água Azul do Norte** – Província Carajás. 2012. 117f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2012.

GOMES, A. C. B. **Geologia, Petrografia e Geoquímica dos granitoides de Canaã dos Carajás, SE do Estado do Pará**. 2003. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências – Universidade Federal do Pará.

GUIMARÃES, F.V.G; DALL'AGNOL, R; ALMEIDA, J.A.C; OLIVEIRA, M.A; Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica do trondhjemitó Mogno e tonalito Mariázinha, terreno granito-greenstone de Rio Maria – Pará. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 40, n.2, p.196-211. 2010.

HANSON G.N. The application of trace elements in the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 38, p. 26-43. 1978.

HENDERSON, P. **Rare Earth Element Geochemistry**, Amsterdam, Elsevier, 1984, p.510.

HUHN, S.B.; MACAMBIRA, M.J.B.; DALL'AGNOL, R. Geologia e geocronologia Pb/Pb do granito alcalino arqueano Planalto, região da Serra do Rabo, Carajás-PA. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6, **boletim de resumos expandidos**, Manaus: SBG-NN, 1999. v.1, p.463-466.

LEITE, A.A.S; DALL'AGNOL, R; MACAMBIRA, M.J.B; ALTHOFF, F.J. Geologia e geocronologia dos granitoides arqueanos da região de Xinguara (PA) e suas implicações na evolução do terreno granito-greenstone de Rio Maria. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, p. 447-458. 2004.

LOISELLE, M.C; WONES, D.R. Characteristics and origin of anorogenic granites. **Geological Society of America**, v.11, p. 468. 1979.

MACHADO N., LINDENMAYER Z., KROGH T.E., LINDENMAYER D. U/Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás Área, Amazon shield, Brazil. **Precambrian Research**, v. 49, p.329-354. 1991.

MACAMBIRA, M.J.B. ; LAFON, J.M. Geocronologia da Província Mineral de Carajás; síntese dos dados e novos desafios. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Série Ciências da Terra, v. 7, p. 263-287, 1995.

MORETO, C. P. N.; MONTEIRO, L. V. S. ; XAVIER, R. P.; AMARAL, W. S. ; SANTOS, T. J. S.; JULIANI, C.; SOUZA FILHO, C. R. Mesoarchean (3.0 and 2.86 Ga) host rocks of the iron oxide–Cu–Au Bacaba deposit, Carajás Mineral Province: U–Pb geochronology and metallogenetic implications. **Mineralium Deposita**, v. 46, p. 789–811, 2011.

NOGUEIRA, A.C.R.; TRUCKENBRODT, W.; PINHEIRO, R.V.L. Formação Águas Claras, Pré-Cambriano da Serra dos Carajás: redescritção e redefinição litoestratigráfica. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Série Ciências da Terra, v.7, p. 177-277, 1995.

OLIVEIRA, D.C.; DALL'AGNOL, R.; BARROS, C.E.M.; FIGUEIREDO, M.A.B.M. Petrologia magnética do Granito Paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico. In: KLEIN, E.L; VASQUEZ, M.L.; ROSA-COSTA, L.T. (eds.). **Contribuições á geologia da Amazônia**. Belém: Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo Norte, 2002. v. 3, p.115-132.

OLIVEIRA, D. C. **Modelos de evolução e colocação dos granitos paleoproterozóicos da Suíte Jamon, SE do Cráton Amazônico**. 2006. 171 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

OLIVEIRA, M.A.; DALL'AGNOL, R.; ALTHOFF, F.J.; LEITE, A.A.S. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 27, p. 146-160, 2009.

PEARCE, J.A.; HARRIS, N.B.W.; TINDLE, A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. **Journal of Petrology**, v. 25, p. 956-983, 1984.

PIMENTEL M.M. e MACHADO N. Geocronologia U-Pb dos terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, 1988, Camboriú. **Boletim de resumos expandido**. Camboriú: SBG, 1994. p. 390-391.

RAGLAND, P.C. **Basic analytical petrology**. New York: Oxiford University Press, 1989. 2v.

ROLLINSON, H. **Using geochemical data: evolution, presentation, interpretation**. New York: Longman, 1993. 352f

RODRIGUES D.S. **Petrografia, geoquímica e geocronologia do granito Boa Sorte, município de Água Azul do Norte – Província Carajás**. 2011. 88f. Trabalho de Conclusão do Curso, FAGEO de Marabá, Universidade Federal do Pará, Marabá 2011.

SANTOS, J.O.S. Geotectônica dos Escudos das Guianas e Brasil Central. In: BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. (eds). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG = Geology, tectonics and mineral resources of Brazil: text, maps & GIS**. Brasília, DF: Companhia de Recursos Minerais-CPRM, 2003. p. 169-226.

SANTOS, R.D.; OLIVEIRA, D.C. Geologia, petrografia e caracterização geoquímica das rochas máficas do Complexo Pium - Província Mineral de Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45, 2010, Belém. **Anais**. Belém: SBG, 2010. 1 CD-ROM.

SANTOS, R.D. **Geologia, geoquímica e geocronologia do diopsídio-norito pium, Canaã dos Carajás, Província Carajás**. 2012. 82f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.

SANTOS, P. A.; FEIO, G. R. L.; DALL'AGNOL, R.; COSTI, H. T.; LAMARÃO, C. N.; GALARZA TORO, M. A. Petrography, magnetic susceptibility and geochemistry of the Rio Branco Granite, Carajás Province, southeast of Pará, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 43, n. 1, p. 2–15, 2013.

SARDINHA, A.S.; DALL'AGNOL, R.; GOMES, A.C.B.; MACAMBIRA, M.J.B.; GALARZA TORO, M.A. Geocronologia Pb-Pb e U-Pb em zircão de granitóides arqueanos da região de Canaã dos Carajás, Província Mineral de Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42, 2004: SBG, 2004. 1 CD-ROM.

SARDINHA, A.S.; BARROS, C.E.M.; KRYMSKY, R. Geology, geochemistry, and U–Pb geochronology of the Archean (2.74 Ga) Serra do Rabo granite stocks, Carajás Metallogenic Province, northern Brazil. **Journal South American Earth Sciences**, v. 20, p. 327–339, 2006.

SHAND, S. J. **Eruptive rocks**. 2nd ed. New York: Wiley, 1943.

SILVA, A.C. **Geologia, petrografia e geoquímica dos granitóides arqueanos da área de Vila Jussara, Província Carajás**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.

SOUZA S.Z., DALL'AGNOL R., ALTHOFF F.J., LEITE A.A.S., BARROS, C.E.M. Carajás mineral province: geological, geochronological and tectonic constrasts on the Archean evolution of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrain and the Carajás block. In: SYMPOSIUM ON ARCHEAN TERRANES OF SOUTH AMERICA PLATFORM, Brasília DF, 1996, Extended abstracts. Brasília DF: SBG. p. 31-3. 1996.

STRECKEISEN, A. Plutonic rocks. Classification and nomenclature recommended by the IUGS Subcommission on the Systematic of Igneous Rocks. **Geotimes**, v. 18, p. 26- 30. 1976.

SYLVESTER, P.J. Post-collisional alkaline granites. **Journal of Geology** v. 97, p. 261–280. 1989.

TASSINARI, C.C.G.; MACAMBIRA, M.J.B. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. **Episodes**, v. 22, n.3, p. 174-182, 1999.

TEIXEIRA, N.P.; BETTENCOURT, J.S. Velho Guilherme intrusive suite. Pará, Brazil: petrogenetic aspects and associated mineralization. In: INTERN. GEOL. CONGR,31., 2000, Rio de Janeiro. **Abstracts volume**. Rio de Janeiro: SBG; CPRM; IGCP-426, IAGC/IMA, 2000. 1 CDROM.

TEIXEIRA, N.P.; BETTENCOURT, J.S.; MOURA, C.A.V.; DALL'AGNOL, R.; MACAMBIRA, E.M.B. Archen crustal sources for paleoproterozoic tingranites in the Carajás Province, SSE Pará, Brazil: Pb-Pb geochronology and Nd isotope geochemistry. **Precambrian Research**, v.119, n.1- 4, p. 2257-2275, 2002a.

TEIXEIRA, N. P.; BETTENCOURT, J. S.; DALL'AGNOL, R.; MOURA, C. A. V.; FERNANDES, C. M. D.; PINHO, S. C. C. Geoquímica dos granitos paleoproterozóicos da Suíte Granítica Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará. Revista **Brasileira de Geociências**, v. 35, p. 217-226. 2005.

VASQUEZ, M. L; ROSA-COSTA, L. T; SILVA, C. G; RICCI, P. F; BARBOSA, J. O; KLEIN, E. L; LOPES, E. S; MACAMBIRA, E. B; CHAVES, C. L; CARVALHO, J. M; OLIVEIRA, J. G; ANJOS, G. C; SILVA, H. R. Litoestratigrafia. In: VASQUEZ M.L.; ROSA-COSTA L.T. (Org.). **Geologia e recursos minerais do estado do Pará**: Sistema de Informações Geográficas – IG: texto explicativo dos mapas geológico e tectônico e de recursos minerais do estado do Pará. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM, 2008. p. 113-215.

WHALEN, J. W., CURRIE K. L., CHAPPEL B. W. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. **Contribution to Mineralogy and Petrology**, v. 95, p. 407-419. 1987.